



Universidad  
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Mecánica

Ingeniería industrial

PROYECTO FIN DE CARRERA

# **Diseño de un conjunto de regulación hídrico para un canal de derivación**

Autor: Diego Romero Villafuertes

Tutor: Higinio Rubio Alonso

Leganés, Noviembre de 2014

**Título: Diseño de un conjunto de regulación hídrico para una canal de derivación**

**Autor: Diego Romero Villafuertes**

**Tutor: Higinio Rubio Alonso**

## EL TRIBUNAL

**Presidente:**

**Vocal:**

**Secretario:**

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de 20\_\_ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

# Agradecimientos

En primer lugar me gustaría dar las gracias a todas las personas que me han apoyado a lo largo de la realización de este proyecto.

En particular me gustaría agradecer a mi familia y a mi mujer Inma, por haber soportado pacientemente todos estos meses de trabajo, y el haber estado a mi lado siempre que lo he necesitado.

A mi tutor Higinio, por las duras horas de trabajo codo con codo, los buenos ratos pasados durante la realización de este proyecto y la gran ayuda que siempre me ha prestado.

Y por ultimo me gustaría agradecer a todos mis amigos y conocidos que me han ayudado a resolver problemas que se presentaban durante la realización del proyecto.

A todos vosotros, muchas gracias.

# Resumen

El principal objetivo de este proyecto es participar en el diseño del canal de derivación que permita transportar los excedentes hídricos del cauce de un río hasta el embalse de regulación. En concreto, se diseñará un conjunto de regulación hídrico de dos compuertas según lo requerido en una especificación, para regular la derivación de agua y asegurar el buen funcionamiento del azud.

Para llevar a cabo el proyecto:

- Se recopilará documentación sobre instalaciones tipo en ingeniería hidráulica para adquirir un alto nivel en particular sobre los diferentes tipos de compuerta existentes.
- Se seleccionará la normativa vigente aplicable para el diseño y cálculo de elementos mecánicos.
- Se realizará el diseño de cada compuerta por separado debido a que presentan especificaciones diferentes.
- Se implementará un diseño del conjunto hídrico de las dos compuertas en un modelo 3D, desarrollado sobre el programa informático Catia V5.
- Se simularán el modelo del conjunto hídrico mediante el módulo Generative Structural Analysis de CATIA V5.
- Se analizará el resultado obtenido y se estudiará su adecuación a la normativa.



# Abstract

The main aim of this project is to take part in the design of the diversion canal to allow surplus water be transported from a river to a reservoir. Specifically, a set of two water control gates are designed according to the requirements of a specification, to regulate the diversion of water and ensure the smooth operation of the dam.

To carry out the project:

- Documentation type hydraulic engineering facilities will be collected to acquire a high level Knowledge, in particular about the different types of existing gates.
- Existing rules for the design and analysis of mechanical elements are selected.
- Each gate design will be performed separately because they have different specifications.
- The Design of the 3D gate model is developed on the software Catia V5
- 3D gate model will be simulated by Generative Structural Analysis CATIA V5 module
- The result will be discussed and its relevance to the regulation will be considered.





# Índice

## Índice de tablas y figura

Pág

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. Ámbito del proyecto .....	1
1.2. Objetivos .....	4
1.3. Fases del proyecto .....	5
1.4. Estructura del documento .....	6
<b>2. Revisión teórica de ingeniería hidráulica .....</b>	<b>9</b>
2.1.1. Introducción a las instalaciones tipo en ingeniería hidráulica .....	9
2.1.1.1. Desagües de fondo .....	9
2.1.1.2. Desagües profundos .....	15
2.1.2. Descripción de los cierres para desagües de fondo y desagües profundos .....	18
2.1.2.1. Compuerta rectangular deslizante de tipo americano .....	18
2.1.2.2. Compuerta circular de anillo de tipo americano .....	27
2.1.2.3. Compuertas deslizantes .....	30
2.1.2.4. Compuertas vagón .....	33
2.1.2.5. Compuertas oruga .....	40
2.1.2.6. Compuerta de regulación Taintor .....	41
2.1.2.7. Válvula compuerta .....	43
2.1.2.8. Válvula mariposa .....	46
2.1.2.9. Ataguías .....	47
2.1.2.10. Compuertas de paramento .....	48
2.1.2.11. Viga tenaza .....	49
2.1.3. Tomas de agua en embalse .....	50
2.1.4. Cierres de seguridad .....	54



2.1.5. Cierres de maniobra .....	55
2.1.6. Tomas de agua en canal .....	57
2.1.7. Órganos de maniobra y regulación .....	60
2.1.8. Aliviaderos móviles .....	67
2.1.9. Presas de derivación .....	86
<b>3. Introducción a la herramienta de diseño y cálculo: Catia V5 .....</b>	<b>87</b>
3.1.1. Introducción .....	87
3.1.2. Módulo Part Design .....	89
3.1.3. Módulo Assembly Design .....	91
3.1.4. Módulo Drafting .....	93
3.1.5. Módulo Generative Structural Analysis .....	94
<b>4. Especificaciones del sistema .....</b>	<b>97</b>
4.1. Ubicación de las compuertas y especificaciones técnicas.....	97
4.2. Normativa a cumplir .....	102
4.2.1. Cálculos estructurales .....	102
4.2.2. Instrucciones y normas .....	102
4.2.3. Materiales .....	103
4.2.3.1. Introducción .....	103
4.2.3.2. Materiales y normas .....	104
4.2.4. Fabricación .....	106
4.2.4.1. Generalidades .....	106
4.2.4.2. Soldadura .....	106
• Generalidades .....	106
• Preparación material a soldar .....	106
• Homologación y procedimientos .....	107
• Técnica de soldadura .....	107
• Acabado de las soldaduras .....	107
• Inspección de las soldaduras .....	108
4.2.4.3. Tratamiento térmico .....	108
4.2.4.4. Trabajos de mecanizado .....	109
4.2.4.5. Tolerancias de fabricación .....	110
4.2.5. Protección anticorrosiva .....	110
4.2.5.1. Alcance del trabajo .....	110
4.2.5.2. Preparación de superficies .....	111
4.2.5.3. Sistemas de protección anticorrosiva .....	111
• Generalidades .....	111
• Sistemas de pintura .....	112
• Control de la calidad de la pintura .....	112
4.2.6. Control de calidad .....	113
• Generalidades .....	113



• Control de fabricación .....	113
• Pruebas en fábrica .....	114
• Dossier final de control de calidad .....	114
• Control de recepción .....	114
4.2.7. Transporte y montaje .....	115
• Generalidades .....	115
• Embalaje .....	115
• Transporte y almacenamiento .....	115
• Preparaciones del montaje .....	116
• Montajes de los equipos .....	116
4.2.8. Pruebas en obra .....	118
4.3. Hipótesis de carga .....	119
4.3.1. Generalidades .....	119
4.3.2. Hipótesis de carga normal .....	119
4.3.3. Hipótesis de carga extraordinaria .....	120
4.3.4. Hipótesis de carga excepcional .....	120
4.4. Magnitudes de las solicitaciones .....	120
4.4.1. Peso propio .....	120
4.4.2. Presión del agua .....	120
4.4.3. Coeficiente de rozamiento .....	121
4.4.4. Coeficiente de resistencia a la rodadura .....	122
4.4.5. Fuerza de compresión en el elemento de estanqueidad interior .....	122
4.4.6. Acciones sísmicas .....	123
4.4.7. Acción del viento .....	123
4.5. Tensiones admisibles .....	123
4.5.1. Tensiones admisibles en los elementos estructurales de acero .....	123
4.5.2. Tensiones admisibles en el hormigón .....	124
4.5.3. Otros criterios del proyecto .....	124
4.5.4. Espesores mínimos .....	125
4.5.5. Fuerzas de accionamiento .....	125
4.5.6. Ranuras .....	125
4.5.7. Piezas fijas .....	125
4.5.8. Borde inferior de los tableros .....	126
4.5.9. Dispositivos de estanqueidad .....	126
4.5.10. Aireación de compuertas .....	126
<b>5. Metodología y Planificación .....</b>	<b>130</b>
5.1. Metodología .....	130
5.1.1. Oferta .....	130
5.1.2. Especificaciones del cliente .....	131
5.1.3. Diseño de las compuertas .....	131
5.1.4. Fabricación de las compuertas .....	132



5.1.5. Montaje .....	132
5.1.5.1. Hormigonado de 1Fase .....	132
5.1.5.2. Hormigonado de 2ª fase .....	132
5.1.6. Verificación .....	132
5.2. Planificación .....	132
<b>6. Solución propuesta .....</b>	<b>136</b>
6.1. Introducción .....	136
6.2. Diseño preliminar compuerta canal .....	140
6.2.1. Ubicación .....	140
6.2.2. Partes principales de la compuerta canal .....	142
6.2.2.1. Tablero .....	142
6.2.2.2. Hierros fijos .....	147
6.2.2.3. Accionamiento .....	156
6.2.3. Sistemas de protección anticorrosivos .....	158
6.3. Diseño preliminar compuerta mural .....	160
6.3.1. Ubicación .....	160
6.3.2. Partes principales de la compuerta canal .....	162
6.3.2.1. Tablero .....	162
6.3.2.2. Hierros fijos .....	169
6.3.2.3. Accionamiento .....	177
6.3.3. Sistema de protección anticorrosivo .....	177
<b>7. Validación de la solución propuesta .....</b>	<b>179</b>
7.1. Introducción .....	179
7.2. Análisis de la compuerta canal .....	179
7.2.1. Cálculos preliminares compuerta canal .....	179
7.2.1.1. Cálculo analítico del tablero .....	179
7.2.1.2. Cálculo de rodillos .....	182
7.2.1.3. Cálculo del esfuerzo de elevación y cierre .....	184
7.2.1.4. Cálculo del husillo y tuerca .....	186
7.2.1.5. Cálculo del par actuador .....	186
7.2.2. Análisis del diseño de compuerta canal con elementos finitos .....	187
7.3. Análisis de la compuerta mural .....	191
7.3.1. Cálculos preliminares compuerta mural .....	191
7.3.1.1. Cálculo analítico del tablero .....	191
7.3.1.2. Cálculo de rodillos .....	192
7.3.1.3. Cálculo del esfuerzo de elevación y cierre .....	194
7.3.1.4. Cálculo del husillo y tuerca .....	197
7.3.1.5. Cálculo del par actuador .....	197
7.3.2. Análisis del diseño de compuerta mural con elementos finitos .....	198



<b>8. Presupuesto</b>	206
<b>9. Conclusiones</b>	211
<b>10. Bibliografía</b>	214
<b>Anexos</b>	216
A Planos del cliente del canal de derivación	216
B Planos de fabricación y ensamblaje compuerta canal	216
C Planos de fabricación y ensamblaje compuerta mural	218

## Figuras y tablas

<i>Figura</i>	Descripción	Pág.
<i>Figura 1.1</i>	<i>Compuertas en un canal</i>	2
<i>Figura 1.2</i>	<i>Azud y canal de derivación</i>	3
<i>Figura 1.3</i>	<i>Embalse regulador</i>	3
<i>Figura 2.1</i>	<i>Desagüe de fondo en una presa</i>	9
<i>Figura 2.2</i>	<i>Sección desagüe de medio fondo</i>	10
<i>Figura 2.3</i>	<i>Sección desagüe de fondo</i>	11
<i>Figura 2.4</i>	<i>Tuberías de aireación</i>	12
<i>Figura 2.5</i>	<i>Circuitos con válvula by-pass</i>	13
<i>Figura 2.6</i>	<i>Blindaje para el conducto</i>	14
<i>Figura 2.7</i>	<i>Tubería desagüe de fondo blindada</i>	14
<i>Figura 2.8</i>	<i>Válvula de chorro en desagüe profundo</i>	16
<i>Figura 2.9</i>	<i>Compuerta rectangular deslizante de tipo americano en desagües de fondo</i>	18
<i>Figura 2.10</i>	<i>Compuertas Bureau en desagües de fondo</i>	18
<i>Figura 2.11</i>	<i>Compuertas Bureau en serie en desagües de medio fondo</i>	19
<i>Figura 2.12</i>	<i>Componentes de la compuerta Bureau</i>	20
<i>Figura 2.13</i>	<i>Marco para compuerta Bureau</i>	22
<i>Figura 2.14</i>	<i>Conjunto de compuerta Bureau</i>	23
<i>Figura 2.15</i>	<i>Campana y vástago para compuerta Bureau</i>	24
<i>Figura 2.16</i>	<i>Accionamiento mediante bomba y crick de aceite</i>	25





<b>Figura 2.17</b>	<i>Sistema de By-pass en una conducción.</i>	27
<b>Figura 2.18</b>	<i>Instalación de dos compuertas circulares de anillo tipo americano</i>	28
<b>Figura 2.19</b>	<i>Esquema de compuerta circular de anillo de tipo americano</i>	28
<b>Figura 2.20</b>	<i>Conjunto de compuerta circular de anillo de tipo americano</i>	29
<b>Figura 2.21</b>	<i>Cilindro de accionamiento y elementos auxiliares de compuerta circular de anillo de tipo americano</i>	30
<b>Figura 2.22</b>	<i>Compuerta tajadera de fondo de tipo H y de tipo H-F con mecanismo hidráulico</i>	31
<b>Figura 2.23</b>	<i>Compuertas tajadera de superficie con cabezal y con columna</i>	31
<b>Figura 2.24</b>	<i>Compuertas tajadera de fondo con cabezal y con columna</i>	32
<b>Figura 2.25</b>	<i>Compuertas vagón ubicada en un canal</i>	33
<b>Figura 2.26</b>	<i>Componentes de una compuerta vagón</i>	34
<b>Figura 2.27</b>	<i>Tablero de compuerta vagón</i>	35
<b>Figura 2.28</b>	<i>Rodillos empleados en una compuerta vagón</i>	36
<b>Figura 2.29</b>	<i>Compuerta vagón instalada</i>	38
<b>Figura 2.30</b>	<i>Mecanismos de accionamiento</i>	39
<b>Figura 2.31</b>	<i>Compuerta oruga en una toma de agua</i>	41
<b>Figura 2.32</b>	<i>Esquema compuerta Taintor</i>	42
<b>Figura 2.33</b>	<i>Compuertas Taintor en aliviadero</i>	43
<b>Figura 2.34</b>	<i>Válvulas de compuerta de cierre circular</i>	44
<b>Figura 2.35</b>	<i>Esquema de válvula compuerta y partes de la misma</i>	45
<b>Figura 2.36</b>	<i>Válvula de mariposa</i>	46
<b>Figura 2.37</b>	<i>Esquema de una ataguía instalada</i>	47
<b>Figura 2.38</b>	<i>Ataguía</i>	48
<b>Figura 2.39</b>	<i>Viga tenaza en ataguía</i>	49
<b>Figura 2.40</b>	<i>estanque sumergido (no se necesita ninguna estructura)</i>	50
<b>Figura 2.41</b>	<i>estanque de presa sin canal de derivación (no se necesita ninguna estructura)</i>	50
<b>Figura 2.42</b>	<i>estanque de presa con canal de derivación</i>	51
<b>Figura 2.43</b>	<i>Rejas en una toma de agua</i>	51
<b>Figura 2.44</b>	<i>Esquema de toma de agua</i>	52
<b>Figura 2.45</b>	<i>toma de agua para central hidroeléctrica</i>	54
<b>Figura 2.46</b>	<i>Compuerta cilíndrica</i>	56



<b>Figura 2.47</b>	<i>Toma de agua en canal con rejas</i>	58
<b>Figura 2.48</b>	<i>Compuerta deslizante.</i>	59
<b>Figura 2.49</b>	<i>Compuerta de clapeta</i>	60
<b>Figura 2.50</b>	<i>Válvula de chorro hueco</i>	61
<b>Figura 2.51</b>	<i>Válvula de chorro hueco en un desagüe de fondo</i>	62
<b>Figura 2.52</b>	<i>Posiciones del obturador en una válvula de chorro hueco</i>	62
<b>Figura 2.53</b>	<i>Válvula de Larner Johnson</i>	63
<b>Figura 2.54</b>	<i>Distintas partes de una válvula de Larner Johnson</i>	64
<b>Figura 2.55</b>	<i>Válvula de Howell.Bunger</i>	66
<b>Figura 2.56</b>	<i>Esquema de una válvula de Howell.Bunger</i>	67
<b>Figura 2.57</b>	<i>Aliviadero en presa</i>	68
<b>Figura 2.58</b>	<i>Varios aliviaderos en presa</i>	69
<b>Figura 2.59</b>	<i>Esquema compuerta de segmento o Taintor</i>	71
<b>Figura 2.60</b>	<i>Compuertas Taintor</i>	72
<b>Figura 2.61</b>	<i>Cilindro hidráulico encargado del accionamiento</i>	72
<b>Figura 2.62</b>	<i>Transmisión mecánica</i>	73
<b>Figura 2.63</b>	<i>Compuertas vagón en un aliviadero</i>	75
<b>Figura 2.64</b>	<i>Detalle situación rodillos en compuertas vagón en aliviadero</i>	76
<b>Figura 2.65</b>	<i>Compuerta vagón con clapeta en aliviadero</i>	77
<b>Figura 2.66</b>	<i>Croquis compuerta Stoney</i>	78
<b>Figura 2.67</b>	<i>Tren de rodillos</i>	79
<b>Figura 2.68</b>	<i>Indicador de posición y cadena tipo Galle en compuerta Stoney</i>	80
<b>Figura 2.69</b>	<i>Compuerta de clapeta automática</i>	81
<b>Figura 2.70</b>	<i>Alza automática de sector en una presa</i>	82
<b>Figura 2.71</b>	<i>Alza automática de sector en una presa</i>	83
<b>Figura 2.72</b>	<i>Esquema de compuerta tipo tambor</i>	84
<b>Figura 3.1</b>	<i>Talleres de trabajo Catia V5</i>	89
<b>Figura 3.2</b>	<i>Herramientas para la generación del 3D a partir del Sketcher</i>	90
<b>Figura 3.3</b>	<i>Rueda generada mediante revolución a partir de un sketch</i>	90
<b>Figura 3.4</b>	<i>Sketch parametrizado de la rueda.</i>	91
<b>Figura 3.5</b>	<i>Restricción de eje en la rueda</i>	92



<b>Figura 3.6</b>	<i>Conjunto seccionado.</i>	93
<b>Figura 3.7</b>	<i>Paleta Space Analysis</i>	93
<b>Figura 3.8</b>	<i>Plano de una rueda.</i>	94
<b>Figura 3.9</b>	<i>Ventana de selección de caso de análisis</i>	95
<b>Figura 3.10</b>	<i>Ventana de definición de mallado.</i>	95
<b>Figura 3.11</b>	<i>Ventana de selección de restricciones de movimiento</i>	95
<b>Figura 3.12</b>	<i>Ventana de selección de asignación de cargas</i>	96
<b>Figura 3.13</b>	<i>Ventana de realización de cálculos.</i>	96
<b>Figura 3.14</b>	<i>Gráficas de tensiones y deformaciones.</i>	96
<b>Figura 4.1</b>	<i>Azud y canal de derivación</i>	98
<b>Figura 4.2</b>	<i>Embalse regulador</i>	98
<b>Figura 4.3</b>	<i>Planos del canal de derivación</i>	98
<b>Figura 4.4</b>	<i>Plano de detalle de la ubicación de la compuerta canal</i>	99
<b>Figura 4.5</b>	<i>Plano de detalle de la ubicación de la compuerta mural</i>	101
<b>Figura 5.1</b>	<i>Planificación</i>	134
<b>Figura 5.2</b>	<i>Diagrama de Gantt del proyecto.</i>	135
<b>Figura 6.1</b>	<i>Compuertas vagón ubicada en un canal</i>	136
<b>Figura 6.2</b>	<i>Compuerta vagón para la compuerta CANAL</i>	138
<b>Figura 6.3</b>	<i>Compuerta vagón para la compuerta MURAL</i>	139
<b>Figura 6.4</b>	<i>Vista lateral del canal de derivación</i>	140
<b>Figura 6.5</b>	<i>Vista superior del canal de derivación</i>	140
<b>Figura 6.6</b>	<i>Ubicación de la compuerta canal dentro del canal de derivación</i>	141
<b>Figura 6.7</b>	<i>Sentido del agua dentro del canal de derivación</i>	141
<b>Figura 6.8</b>	<i>Tablero de la compuerta canal</i>	142
<b>Figura 6.9</b>	<i>Conjunto sistema rodillos compuerta canal</i>	143
<b>Figura 6.10</b>	<i>Conjunto sistema de rodillos compuerta canal</i>	144
<b>Figura 6.11</b>	<i>Ubicación simétrica de los rodillos compuerta canal</i>	145
<b>Figura 6.12</b>	<i>Juntas para el sellado lateral e inferior de la compuerta canal</i>	145
<b>Figura 6.13</b>	<i>Esquema de sellado lateral en la compuerta canal</i>	146
<b>Figura 6.14</b>	<i>Esquema de sellado inferior en la compuerta canal</i>	146
<b>Figura 6.15</b>	<i>Orejeta para el amarre del vástago en la compuerta canal</i>	146



<b>Figura 6.16</b>	<b>Tablero compuerta canal con y sin cemento</b>	<b>146</b>
<b>Figura 6.17</b>	<b>Detalle de Ubicación de las placas para los hierros fijos compuerta canal</b>	<b>147</b>
<b>Figura 6.18</b>	<b>Placas para la instalación de los hierros fijos en la compuerta canal</b>	<b>148</b>
<b>Figura 6.19</b>	<b>Montantes de los hierros fijos compuerta canal.</b>	<b>149</b>
<b>Figura 6.20</b>	<b>Instalación de los montantes</b>	<b>150</b>
<b>Figura 6.21</b>	<b>Varillas roscadas</b>	<b>151</b>
<b>Figura 6.22</b>	<b>Funcionamiento de los montantes con el tablero</b>	<b>152</b>
<b>Figura 6.23</b>	<b>Ubicación del umbral en los hierros fijo de la compuerta canal</b>	<b>153</b>
<b>Figura 6.24</b>	<b>Unión con los montantes y con las placas</b>	<b>154</b>
<b>Figura 6.25</b>	<b>Instalación cabezal de la compuerta canal</b>	<b>154</b>
<b>Figura 6.26</b>	<b>Ubicación del cabezal</b>	<b>155</b>
<b>Figura 6.27</b>	<b>Instalación del cabezal mediante las varillas roscadas</b>	<b>155</b>
<b>Figura 6.28</b>	<b>Tuercas para unión y reglaje del cabezal en la compuerta canal</b>	<b>156</b>
<b>Figura 6.29</b>	<b>Mecanismo de Accionamiento compuerta canal</b>	<b>157</b>
<b>Figura 6.30</b>	<b>Actuador eléctrico para la compuerta canal</b>	<b>158</b>
<b>Figura 6.31</b>	<b>Vista lateral del canal de derivación</b>	<b>160</b>
<b>Figura 6.32</b>	<b>Vista superior del canal de derivación</b>	<b>160</b>
<b>Figura 6.33</b>	<b>Ubicación de la compuerta mural dentro del canal de derivación</b>	<b>161</b>
<b>Figura 6.34</b>	<b>Sentido del agua dentro del canal de derivación</b>	<b>162</b>
<b>Figura 6.35</b>	<b>Tablero de la compuerta mural</b>	<b>163</b>
<b>Figura 6.36</b>	<b>Conjunto sistema rodillos compuerta mural</b>	<b>164</b>
<b>Figura 6.37</b>	<b>Conjunto sistema rodillos compuerta mural</b>	<b>164</b>
<b>Figura 6.38</b>	<b>Ubicación simétrica de los rodillos compuerta mural</b>	<b>165</b>
<b>Figura 6.39</b>	<b>Ubicación de los patines guía en el tablero compuerta mural</b>	<b>165</b>
<b>Figura 6.40</b>	<b>Patín guía. 4 posiciones</b>	<b>166</b>
<b>Figura 6.41</b>	<b>Esquema de guiado en la compuerta mural</b>	<b>166</b>
<b>Figura 6.42</b>	<b>Sellado a cuatro lados del tablero en la compuerta mural</b>	<b>167</b>
<b>Figura 6.43</b>	<b>Esquema de sellado superior, inferior y lateral del tablero compuerta mural</b>	<b>168</b>
<b>Figura 6.44</b>	<b>Orejeta para el amarre del vástago en la compuerta mural</b>	<b>168</b>
<b>Figura 6.45</b>	<b>Tablero compuerta mural con y sin cemento</b>	<b>169</b>
<b>Figura 6.46</b>	<b>Placas para la instalación de los hierros fijos en la compuerta canal</b>	<b>170</b>



<b>Figura 6.47</b>	<i>Detalle de Ubicación de las placas para los hierros fijos compuerta mural</i>	170
<b>Figura 6.48</b>	<i>Detalle de la sección de las placas</i>	171
<b>Figura 6.49</b>	<i>Detalle de Ubicación de las placas para los hierros fijos compuerta mural</i>	171
<b>Figura 6.50</b>	<i>Montante lateral hierros fijos de la compuerta mural</i>	172
<b>Figura 6.51</b>	<i>Umbral hierros fijos de la compuerta mural</i>	173
<b>Figura 6.52</b>	<i>Dintel hierros fijos de la compuerta mural</i>	173
<b>Figura 6.53</b>	<i>Unión entre los montantes laterales y el umbral hierros fijos compuerta mural</i>	174
<b>Figura 6.54</b>	<i>Unión entre los montantes laterales y el dintel hierros fijos compuerta mural</i>	174
<b>Figura 6.55</b>	<i>Varillas roscadas para el reglaje en los hierros fijos compuerta mural</i>	175
<b>Figura 6.56</b>	<i>ubicación del cabezal de la compuerta mural</i>	176
<b>Figura 6.57</b>	<i>Cabezal para instalar el accionamiento de la compuerta mural</i>	176
<b>Figura 6.58</b>	<i>Actuador eléctrico todo-nada compuerta mural</i>	177
<b>Figura 7.1</b>	<i>Esquema de del tablero de la compuerta canal</i>	180
<b>Figura 7.2</b>	<i>Esquema de presiones hidrostáticas de la compuerta canal</i>	180
<b>Figura 7.3</b>	<i>Esquema de presiones hidrostáticas de la compuerta canal</i>	181
<b>Figura 7.4</b>	<i>Esquema de la compuerta canal</i>	184
<b>Figura 7.5</b>	<i>Modelo simplificado de la compuerta canal.</i>	187
<b>Figura 7.6</b>	<i>Mallado compuerta canal</i>	188
<b>Figura 7.7</b>	<i>Restricciones compuerta canal</i>	188
<b>Figura 7.8</b>	<i>Cargas compuerta canal</i>	189
<b>Figura 7.9</b>	<i>Cargas compuerta canal</i>	189
<b>Figura 7.10</b>	<i>Estado de esfuerzos en la compuerta canal.</i>	190
<b>Figura 7.11</b>	<i>Tensión máxima zona de los rodillos inferiores tablero de la compuerta canal</i>	190
<b>Figura 7.12</b>	<i>Cargas compuerta mural</i>	191
<b>Figura 7.13</b>	<i>Esquema de la compuerta mural</i>	195
<b>Figura 7.14</b>	<i>Modelo simplificado de la compuerta mural</i>	198
<b>Figura 7.15</b>	<i>Mallado compuerta mural</i>	199
<b>Figura 7.16</b>	<i>Restricciones compuerta mural</i>	199
<b>Figura 7.17</b>	<i>Cargas compuerta mural</i>	200
<b>Figura 7.18</b>	<i>Cargas compuerta mural</i>	200
<b>Figura 7.19</b>	<i>Estado de esfuerzos en la compuerta mural</i>	201

<b>Figura 7.20</b>	<i>Tensión máxima zona de los ejes del tablero de la compuerta mural</i>	201
<b>Figura 7.21</b>	<i>cartela y nervio ejes inferiores de la compuerta mural</i>	202
<b>Figura 7.22</b>	<i>Estado de esfuerzos compuerta mural espesores de 14mm en el eje inferior</i>	202
<b>Figura 7.23</b>	<i>Tensión máxima ejes tablero compuerta mural espesores de 14mm eje inferior</i>	203
<b>Figura 7.24</b>	<i>Nervio ejes superiores de la compuerta mural</i>	203
<b>Figura 7.25</b>	<i>Estado de esfuerzos compuerta mural espesores de 12mm nervio eje superior</i>	204
<b>Figura 7.26</b>	<i>Tensión máxima ejes tablero compuerta mural espesor de 12mm eje superior</i>	204
<b>Figura 8.1</b>	<i>Presupuesto proyecto</i>	210
<b>Figura 9.1</b>	<i>Estado de esfuerzos en la compuerta canal I</i>	212
<b>Figura 9.2</b>	<i>Estado de esfuerzos solución inicial compuerta mural</i>	213
<b>Figura 9.3</b>	<i>Estado de esfuerzos solución final compuerta mural</i>	213
<b>Tabla</b>	<i>Descripción</i>	<i>Pág</i>
<b>Tabla 2.1</b>	<i>Construcción del tablero en función de la carga</i>	21
<b>Tabla 3.1</b>	<i>paletas dentro del modulo Assembly design</i>	92
<b>Tabla 4.1</b>	<i>Características del aceite utilizado en los mecanismos oleohidráulicos</i>	105
<b>Tabla 4.2</b>	<i>Tiempo necesario de exposición del material dependiendo del espesor</i>	109
<b>Tabla 4.3</b>	<i>Coeficiente de rozamiento en dispositivos de estanqueidad en contacto con el agua y sin lubricación.</i>	121
<b>Tabla 4.4</b>	<i>Coeficiente de rozamiento del acero inoxidable sobre acero al carbono</i>	121
<b>Tabla 4.5</b>	<i>Coeficiente de rozamiento del bronce sobre acero inoxidable</i>	121
<b>Tabla 4.6</b>	<i>Porcentajes máximos recomendados de Tensiones admisibles para el acero</i>	123
<b>Tabla 4.7</b>	<i>limitación de la esbeltez mecánica de los equipos a utilizar</i>	124
<b>Tabla 4.8</b>	<i>Espesores mínimos de de chapa de acero y perfiles</i>	125
<b>Tabla 6.1</b>	<i>Materiales y normas para partes estructurales compuerta cana</i>	159
<b>Tabla 6.2</b>	<i>Aceros inoxidables compuerta canal</i>	159
<b>Tabla 6.3</b>	<i>Materiales y normas para partes estructurales compuerta mural</i>	178
<b>Tabla 6.4</b>	<i>Aceros inoxidables compuerta mural</i>	178



<b>Tabla 7.1</b>	<i>Cambios realizados en la compuerta mural</i>	205
<b>Tabla 7.2</b>	<i>Factores de seguridad en los dos diseños de la compuerta mural</i>	205
<b>Tabla 8.1</b>	<i>Personal</i>	207
<b>Tabla 8.2</b>	<i>Equipos</i>	207
<b>Tabla 8.3</b>	<i>Subcontratación</i>	208
<b>Tabla 8.4</b>	<i>Otros costes directos del proyecto</i>	208
<b>Tabla 8.5</b>	<i>Coste Total</i>	209
<b>Tabla 8.6</b>	<i>Presupuesto de ejecución por contrata</i>	209
<b>Tabla 8.7</b>	<i>Presupuesto total</i>	209
<b>Tabla 9.1</b>	<i>Estado de esfuerzos en la compuerta canal</i>	211
<b>Tabla 9.2</b>	<i>Estado de esfuerzos solución inicial compuerta mural</i>	212
<b>Tabla 9.3</b>	<i>Estado de esfuerzos solución final compuerta mural</i>	213

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1.Ámbito y justificación del proyecto

Debido a los problemas de escasez de lluvias y sequías en zonas con economías basadas en la agricultura de regadío, se están continuamente realizando estudios para el aprovechamiento de los recursos hídricos.

En periodos de lluvia se produce un importante aumento de caudal, estimándose volúmenes importantes en periodos de pocos días. Estos recursos hídricos al no estar regulados prácticamente en su totalidad son vertidos al mar. De esta forma no se aprovechan de forma óptima los recursos superficiales.

En la situación actual existe en la zona un déficit hídrico (diferencia entre la demandante y los recursos subterráneos renovables y superficiales regulados), ese déficit se suple con la sobreexplotación de los acuíferos, lo que está provocando una disminución de las reservas subterráneas, así como la salinización debido a la intrusión marina y un empeoramiento de la calidad del agua, que ha obligado al abandono de numerosos pozos de extracción. Todo ello ha generado una situación medioambientalmente insostenible que necesita una solución.

Debido a la escasa disponibilidad de recursos hídricos superficiales regulados en la zona, paulatinamente se han ido realizando pozos para la extracción de recursos subterráneos que pudiesen suplir las demandas existentes. El gran volumen de extracciones ha llegado a superar los recursos renovables del acuífero, llegándose a una situación insostenible, en la cual debido al descenso del nivel freático en la zona de bombeo – por debajo del nivel del mar – se ha producido una marcada intrusión marina en forma de cuña, salinizando el acuífero y obligando a abandonar muchos de los pozos de extracción.



La calidad de las aguas subterráneas cada vez están alcanzando mayores niveles de conductividad, lo que va en detrimento del medio biológico y en general de todo el ecosistema que se siente afectado por la bajada del nivel freático y el empeoramiento de la calidad del agua. Respecto a las plantaciones que se riegan, la productividad y la calidad de los productos empeoran progresivamente.

Por otro lado la falta de regulación del agua circulante por el río, procedente de las lluvias de gran intensidad en cortos períodos de duración, provoca que prácticamente todo el flujo se vierta directamente al mar sin permitir su percolación en el acuífero y correspondiente recarga.



**Figura 1.1.** *Compuertas en un canal.*

En nuestro caso, se pretende aprovechar los excedentes del río en situación de crecida para recargar los acuíferos, reduciendo así su sobreexplotación para abastecer las necesidades varias de aguas. Actualmente nos encontramos en una situación gravemente deficitaria, lo que ha provocado la aparición de importantes problemas entre los que destacan el que se refiere a la progresiva sobreexplotación de los acuíferos disponibles – íntimamente ligado a la intrusión marina – y las afecciones a la propia masa arbórea frutícola, debido a la reducción de las dotaciones y su peor calidad.

Para aumentar el aprovechamiento de los recursos hídricos en las zonas más necesitadas, se necesitan realizar diferentes actuaciones:

- Un azud de derivación en el río (fig. 1.2), que permita captar los excedentes hídricos de dicho cauce fluvial (manteniendo en todo momento el caudal ecológico), que en un caso contrario son vertidos al mar. Este azud añadirá un efecto laminador aguas abajo, reduciendo los daños en avenida. Con este azud se pretenden derivar los caudales excedentes que se verterían al mar, para su regulación y posterior recarga de los acuíferos.

- Un canal de derivación que permita transportar los excedentes hídricos hasta el embalse de regulación (fig1.2).



**Figura 1.2.** Azud y canal de derivación.

- Un embalse regulador que almacenará los excedentes hídricos para su recarga en el acuífero (o adyacente) (fig1.3).



**Figura 1.3.** Embalse regulador.

- Pozos de recarga unidos al embalse mediante las correspondientes conducciones que permitan infiltrar en el acuífero el agua procedente de los excedentes hídricos del río y que han sido almacenados en el embalse.

Dentro del canal de derivación y del embalse, hay que resaltar la importancia de las compuertas. Las compuertas, son equipos mecánicos móviles, que se colocan en las esclusas de los canales y en los portillos de las presas, utilizadas para el control del flujo del agua y mantenimiento dentro del canal y del embalse.

## **1.2.Objetivos.**

La finalidad de este proyecto es participar en el diseño del canal de derivación que permita transportar los excedentes hídricos del cauce de un río hasta un embalse de regulación. En concreto, el objetivo principal de este proyecto es diseñar un conjunto de regulación hídrico de dos compuertas, según lo requerido en las especificaciones del cliente y las impuestas por la normativa, para regular la derivación de agua y asegurar el buen funcionamiento del azud.

Se realizará el diseño de cada compuerta por separado debido a que presentan especificaciones diferentes.

Como otros objetivos necesarios para alcanzar la realización de este proyecto se han marcado los siguientes puntos:

- Recopilación teórica y estudio de las instalaciones tipo en ingeniería hidráulica, en particular, de los diferentes tipos de compuerta existentes.
- Análisis y selección de la normativa vigente aplicable para el diseño y cálculo de los elementos mecánicos del sistema hídrico abordado.
- Propuesta e implementación del diseño de un conjunto hídrico de dos compuertas, en un modelo 3D. El modelo tridimensional se desarrollará sobre el programa informático Catia V5.
- Análisis estructural del modelo propuesto del conjunto hídrico. El citado análisis se realizará con el módulo “Generative Structural Analysis” de Catia V5.
- Estudio de viabilidad del modelo final y verificación de su adecuación a normativa.

### **1.3.Fases del proyecto.**

El proyecto consta de las siguientes fases de desarrollo sin la cual es imposible entender el desarrollo y los resultados del mismo.

#### **1ª. Fase de conocimientos teóricos generales.**

En esta fase se introducirá al lector en el tema de los diferentes tipos de compuertas, abordando conceptos generales, ámbito, aplicación, así como sus principales características.

Seguidamente se hará un breve desarrollo del programa utilizado para el diseño de las compuertas; en nuestro caso de Catia V5.

A continuación veremos una pequeña introducción en el tema de los elementos finitos, abordando conceptos generales, metodología y proceso de cálculo de los programas de elementos finitos.

#### **2ª. Fase estudio de los datos de partida.**

Aquí analizaremos los datos iniciales necesarios para el desarrollo del proyecto acorde a la normativa vigente.

Veremos en primer lugar las características de la ubicación de las compuertas dentro del canal de derivación, así como las especificaciones y requerimientos de las compuertas y sus requisitos de funcionamiento.

A continuación, haremos una exposición de la normativa a cumplir dentro de este proyecto:

Para los cálculos estructurales, instrucciones y normas, materiales válidos para utilizar, normas para fabricación, hipótesis de carga, magnitud de las solicitaciones, tensiones admisibles, etc.

Todo esto nos guiará para el desarrollo de las compuertas dentro del azud de derivación.

#### **3ª. Fase de teoría de diseño de las compuertas.**

Aquí veremos con detalle el diseño de las compuertas elegidas para esos requerimientos.

Posteriormente se realiza el diseño del modelo tridimensional con la herramienta de diseño Catia V5. Se implementa esta fase con un análisis de ensamblaje analizando con gran precisión las zonas de contacto y se realiza una simulación del movimiento, para comprobar que no aparezcan interferencias.

Diseño y parametrización de los modelos sólidos con los que se efectuarán las simulaciones. De esta forma nos será más fácil modificar cualquier aspecto de las compuertas.

#### **4ª. Fase de cálculo.**

Aquí haremos un análisis estructural de la solución elegida para dimensionarla acorde a los requerimientos del proyecto.

Análisis de esfuerzos y resistencia del material con el módulo Generative Structural Analysis de Catia V5. Se explicarán los procesos del análisis, se reflejarán los resultados obtenidos en hojas de cálculo.

Análisis de los resultados obtenidos realizando una exposición de dichos resultados, así como sus respectivas conclusiones y posibles decisiones a tomar.

#### **5ª. Fase: de conclusiones y trabajos futuros.**

Se realizará una reflexión sobre el proyecto en general y los resultados obtenidos expresados en conclusiones.

#### **6ª. Fase: de redacción de la memoria del proyecto.**

Por último se redactará la documentación explicativa necesaria para su archivo, exposición y comprensión por terceras personas.

## **1.4. Estructura del documento.**

La memoria de este proyecto consta ocho capítulos, bibliografía, y anexos. La disposición de estos capítulos ha sido escogida con la intención de seguir una metodología en la exposición de los contenidos, para obtener la mejor comprensión del proyecto y de los objetivos a conseguir.

A continuación vamos a ver en qué consiste cada una de estas partes y qué se busca con cada uno de los capítulos en ellas incluidos.

### **Capítulo 1: Introducción.**

En este capítulo abordaremos el ámbito de aplicación, donde haremos una breve introducción del problema existente debido a la escasez de lluvias y las acciones emprendidas, los objetivos las fases del proyecto y la estructura del proyecto.

### **Capítulo 2: Revisión teórica de ingeniería hidráulica.**

Este capítulo tiene como misión, introducir al lector en los fundamentos teóricos sobre las diferentes instalaciones que nos podemos encontrar en ingeniería hidráulica. Describiremos los desagües de fondo, los profundos, así como los diferentes tipos de cierres existentes para ambos tipos de desagües, la toma de agua en los embalses, los cierres de seguridad, los de maniobra, la toma de agua en los canales, los órganos de maniobra y regulación, los aliviaderos móviles y las presas de derivación.

### **Capítulo 3: Introducción a la herramienta de diseño y cálculo: Catia V5.**

Haremos una breve introducción del software Catia utilizado para el diseño del conjunto de regulación hídrico, describiendo los diferentes módulos utilizados para el diseño de cada pieza de las compuertas, así como para su ensamblaje en un conjunto y su posterior análisis de elementos finitos.

### **Capítulo 4: Especificaciones del sistema.**

En este capítulo se detallarán todas las especificaciones definidas y requeridas por el cliente para el diseño de las compuertas. Se definirá la ubicación de las compuertas, la normativa a cumplir en el proyecto, las hipótesis de carga, las magnitudes de las solicitaciones y las tensiones admisibles.

### **Capítulo 5: Metodología y Planificación.**

En este capítulo se definirán los diferentes hitos y fases del proyecto, estableciendo las fechas de inicio y fin de cada hito y los recursos utilizados.

### **Capítulo 6: Solución propuesta.**

En este capítulo se centra en definir la solución elegida para el diseño de las dos compuertas requeridas para este proyecto. Se hará una introducción de las compuertas elegidas para luego explicar el diseño preliminar de la compuerta canal y el de la compuerta mural.



Se realizará el modelo tridimensional de ambas compuertas mediante la herramienta informática Catia v5, así como todos los planos necesarios para su fabricación e instalación.

### **Capítulo 7: Validación de la solución propuesta.**

Aquí realizaremos los cálculos preliminares de cada compuerta y su posterior análisis mediante el módulo Generative Structural Analysis de Catia V5.

En este capítulo nos centraremos en el análisis de los resultados obtenidos en el estudio de la solución propuesta.

### **Capítulo 8: Presupuesto.**

Se ofrece una estimación del presupuesto destinado a la elaboración del proyecto.

### **Capítulo 9: Conclusiones.**

En este capítulo se exponen las conclusiones a las que se ha llegado tras la realización del proyecto y todos los conocimientos adquiridos en la su realización.

### **Bibliografía.**

Aquí se citan todas aquellas fuentes de las que hemos recogido información para el proyecto, tanto libros, manuales, apuntes, páginas web o cualquier formato electrónico.

### **Anexos.**

Para finalizar, los anexos del proyecto se componen de los planos de todas las piezas y conjuntos del sistema de regulación hídrico diseñado, la descripción y características de los elementos comerciales empleados, información sobre los materiales de las piezas, etc.

*Anexo A* : Recoge los planos del cliente del canal de derivación.

*Anexo B* : Recoge los planos de fabricación y ensamblaje compuerta canal.

*Anexo C* : Recoge los planos de fabricación y ensamblaje compuerta mural.

# Capítulo 2

## Revisión teórica de ingeniería hidráulica

### 2.1. Hidráulica

#### 2.1.1. Introducción a las instalaciones tipo en Ingeniería hidráulica

##### 2.1.1.1 Desagües de fondo

Los desagües de fondo tienen como misión fundamental vaciar el embalse o al menos la parte del embalse que se encuentra a nivel inferior que la toma más profunda (fig.2.1).



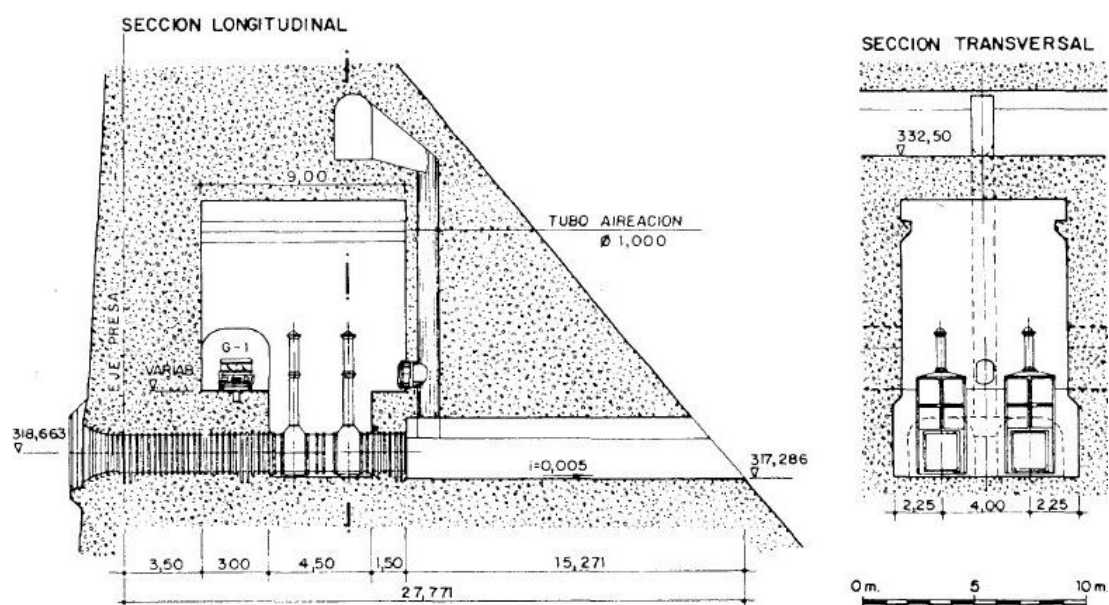
**Figura 2.1.** Desagüe de fondo en una presa



Se utilizan generalmente también como desagües de limpia que se abren en las épocas convenientes para evacuar cuerpos sólidos arrastrados en épocas de crecida y lógamo depositado en la parte inferior del vaso. Cuando los depósitos son grandes la limpieza que produce el desagüe de fondo no es total sino que se forma un embudo en el sedimento por lo que es muy interesante el producir descargas con periodicidad para impedir en lo posible, la formación de los depósitos., para conservar la eficacia del desagüe y para evitar que los sedimentos alcancen a las tomas de agua siempre influenciadas por la limpia del desagüe de fondo.

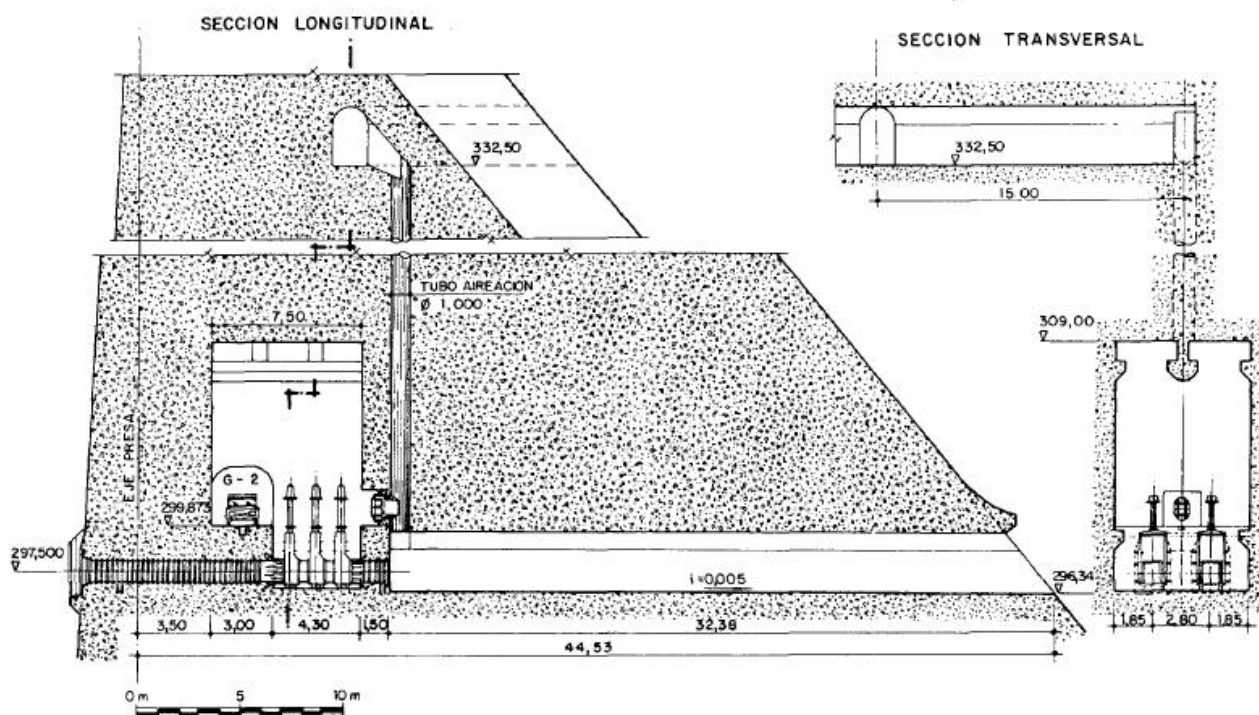
Como se indica anteriormente, es muy aconsejable para cumplir con las misiones de limpia y para conservar la instalación del desagüe en perfectas condiciones de funcionamiento el que se revisen periódicamente a lo largo del año y el que se revisen periódicamente a lo largo del año y el que se abran produciendo la descarga al menos una o dos veces al año, cosa que se puede hacer coincidiendo con las crecidas, aún con más frecuencia siempre que las condiciones de explotación del embalse lo permitan.

La selección de los desagües de fondo debería permitir evacuar la zona del embalse comprendida entre la cota de la toma inferior y la del desagüe de fondo, contando con un caudal medio normal en las aportaciones en un plazo máximo de un mes, que quedará reducido a un plazo del orden de una semana en los períodos de estiaje. Estos mismos plazos de vaciado u otros similares será muy conveniente conseguirlos con el máximo embalse utilizando para ello todos los desagües posibles, es decir, aliviadero, tomas de agua y desagües de fondo. Si la capacidad del embalse es grande de forma que se produjeran aguas abajo grandes avenidas habrá que fijar los plazos y las aperturas de los diferentes desagües como es natural para no sobrepasar los máximos caudales admisibles. Es recomendable que la sección precisa, para el desagüe de fondo, se subdivida al menos en dos conductos y que se tenga en cuenta que uno de los conductos pueda quedar fuera de servicio durante un plazo más o menos largo ya que las reparaciones de estos órganos resultan en algunas situaciones de embalse prácticamente imposibles (fig.2.2).



**Figura 2.2** Sección desagüe de medio fondo.

Para tener una seguridad en el funcionamiento de las instalaciones, es necesario que los órganos de cierre sean dobles en cada uno de los conductos y del tipo muy seguro, y sería muy recomendable que el conducto conserve su sección desde su embocadura hasta la primera compuerta, para evitar taponamientos en los casos de arrastre de sólidos de grandes dimensiones. También es conveniente en cuanto a su funcionamiento el acercar todo lo posible los cierres de paramento de agua arriba de la presa o a la boca de entrada del túnel, a pesar de los inconvenientes que representa la construcción de las cámaras de mecanismos, mucho más expuestas a filtraciones, y de las recomendaciones que se hacen de ubicarlos cerca del paramento de aguas abajo. Una solución puede ser el situar únicamente el segundo, cierre próximo a la salida aunque esto supone un mayor coste.

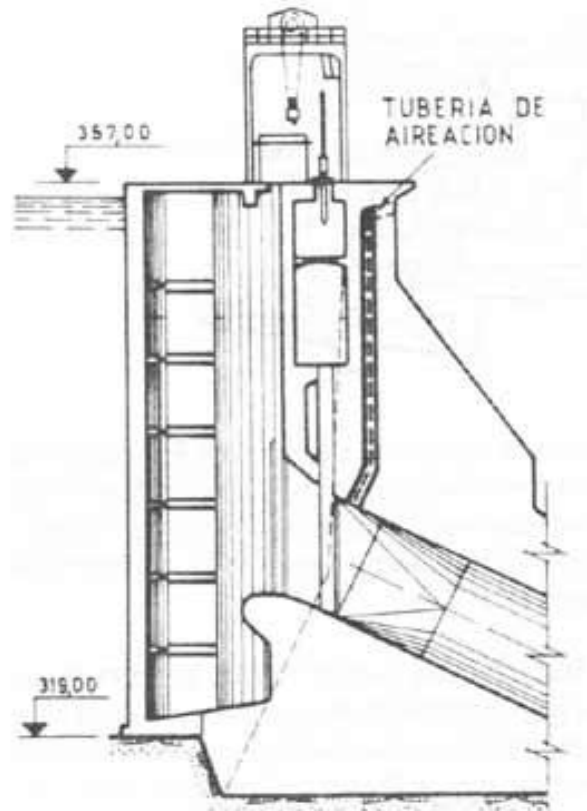


**Figura 2.3** Sección desagüe de fondo.

Cada uno de los conductos de desagüe de fondo debe ser independiente al menos, a partir de los cierres, para evitar en la salida de estos fenómenos de golpes de ariete por enrarecimiento de aireación inmediatamente detrás del obturador. Cuando los conductos van alojados dentro de un túnel y tienen que ser múltiples, deben estar dotados de unas tomas de aire de gran sección además de las instalaciones de aducción de aire que pueden llevar los propios cierres (fig.2.3)

La sección de los conductos, después de los cierres puede ir aumentando de sección gradualmente e incluso bruscamente si se proyecta una buena instalación de aireación en los ensanchamientos.

Conviene destacar que en todas las instalaciones de aducción de aire es muy aconsejable el que exista un conducto de aireación que tenga su toma de aire por encima del nivel más alto que pueda alcanzar el embalse (fig.2.4), en esta forma tienen un funcionamiento más seguro y se evita el empleo de ventosas siempre expuestas a sufrir averías. En el caso de construcción de una nueva presa, suele ser muy fácil dejar esto previsto al construir la obra.



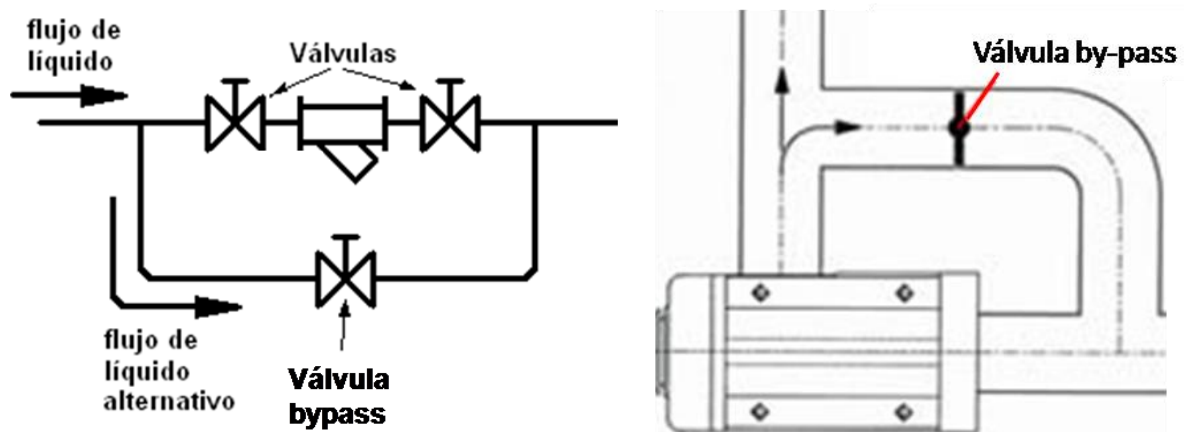
**Figura 2.4** Tuberías de aireación.

En un desagüe de fondo y limpia exclusivamente no es corriente instalar reja de ninguna clase que podría ir taponándose e impedir dicha limpia y hasta entorpecer el desagüe.

Es también muy conveniente instalar en los conductos un dispositivo de desentramamiento por agua a fuerte presión en la parte anterior a los cierres y en el espacio entre cierres para poder desintegrar cualquier taponamiento de fango que pudiera producirse.

Los elementos de cierre de un desagüe de fondo, que son los que pueden funcionar con la mayor carga de todos los de la instalación, deben proyectarse cuidadosamente y no deben funcionar de forma continua con cierres parciales, pues debido a las fuertes velocidades, pueden producirse vibraciones que deterioran los elementos de impermeabilización muy difíciles de reparar y casi imposible en el cierre anterior pues se precisaría para hacerlo de un vaciado del embalse.

Para tener una gran seguridad es por lo que anteriormente hemos indicado deben ser los cierres dobles en cada conducto y debe utilizarse el segundo, o sea el de agua abajo, para el trabajo, reservando el primero para como cierre de seguridad. Para poder reservar el primero conviene en su funcionamiento normal descargarlo y, por esta razón, todos los cierres deben tener un dispositivo de derivación o by-pass que permita equilibrar presiones; sin embargo, la potencia de los mecanismos de accionamiento tanto de cierres de agua arriba, como de agua abajo, es recomendable sean capaces de efectuar la maniobra de apertura y cierre con la carga máxima que puede producir el embalse sin el equilibrio que se consigue con el by-pass (fig.2.5).



**Figura 2.5** Circuitos con válvula by-pass.

No es normal que las instalaciones de fondo, se prevean con posibilidad de ataguamiento anterior a las compuertas ya que en la mayor parte de los casos, los elementos de ataguía no podrán llegar a cerrar bien, debido a depósitos de fango o sólidos que pudieran impedir su adecuada colocación y muchas veces por la dificultad de su colocación.

Debido a las grandes velocidades, con arrastre además de piedras en muchos casos, es necesario que los conductos de desagües de fondo estén muy bien revestidos y en aquellas zonas de velocidad muy alta, es conveniente revestirlos con una coraza metálica (fig.2.6). Es aconsejable el revestimiento metálico de los conductos en toda la zona donde la velocidad pueda sobrepasar de 8m/s y aun muchos proyectistas de instalaciones hidráulicas adoptan revestimiento metálico para todos aquellos puntos en que las velocidades son superiores a 6m/s.

Los revestimientos metálicos de los conductos deben ser robustos y sería de desear que en la parte anterior al primer cierre, que será muy difícil de reparar durante la explotación del embalse, fueran construidos de material resistente a la oxidación, como fundición de hierro gris. El material ideal sería el acero inoxidable, pero desgraciadamente por su coste resulta prohibitivo.





**Figura 2.6** Blindaje para el conducto

Agua abajo del primer cierre se emplea generalmente acero laminado para los revestimientos metálicos y debe tenerse en cuenta al proyectar estos revestimientos las presiones que puedan sufrir por la parte exterior del conducto debidas a la permeabilidad del hormigón cuando dicho elemento de obturación está cerrado. Como en muchos casos, sobre todo en conductos rectangulares, las corazas metálicas no se calculan para soportar presiones, ni por el interior, ni por el exterior del conducto, sino que se trata de simples revestimientos, el proyectista de obra civil debe tener en cuenta que estos esfuerzos deben ser soportados por el hormigón y disponer el correspondiente armado del mismo si fuese necesario.

En algunos casos para garantizar que los revestimientos no serán deformados por presiones exteriores al conducto de paso se dotan las corazas de pequeños orificios a partir del primer cierre.

Hay que agregar por último en cuanto a los revestimientos metálicos, el que es muy aconsejable el que al menos esté blindada la parte del conducto comprendido entre los dos cierres, de forma que queden enlazados y formando un solo conducto (fig.2.7).



**Figura 2.7** Tubería desagüe de fondo blindada.

Los elementos y cierres que se empleen en los desagües de fondo dependen de su situación, dimensiones y carga de agua. Los de cierre, generalmente utilizados, son:

- a) Compuerta rectangular de tipo americano.
- b) Compuerta circular de anillo de tipo americano
- c) Compuerta deslizante.
- d) Compuerta vagón.
- e) Compuerta oruga.
- f) Compuerta de paramento rectangular o circular.
- g) Compuerta ataguía.
- h) Compuerta de segmento o Taintor.
- i) Válvula de compuerta.
- j) Válvula de mariposa.

También se emplean en algún caso las válvulas de paso anular o de chorro hueco, pero éstas tienen su verdadera aplicación como válvulas reguladoras y por ello las incluiremos a continuación en los desagües profundos.

Las características fijadas como normales para los cierres por la sección de Normas Técnicas del CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS (pub 29) son como sigue:

- Para los conductos y válvulas circulares los siguientes diámetros en metros: 1; 1,20; 1,50; 1,80; 2,00.
- Para conductos y válvulas rectangulares las siguientes dimensiones en metros: 0,80x1,00; 1,00 x 1,25; 1,25 x 1,50; 1,50 x 1,80; 1,50 x 2,20.
- Para las compuertas vagón: el vano de las compuertas tendrá una sección al menos 30% mayor que el conducto que cierra; podría ser su ancho un 15% menor del diámetro del conducto y la relación del alto al ancho debe estar comprendida entre 1,40 y 1,75.

En todo caso la velocidad máxima que el agua puede alcanzar a su paso por el cierre no excederá de 2 m/s en compuertas de uso eventual y de 15m/s en las compuertas de uso permanente.

Las presiones normales, para las que deberían proyectarse los cierres, redondeando por exceso las presiones reales de funcionamiento, serán las que corresponden a una carga de agua en metros de 20, 40, 60, 80 y 100.

También se indica en las citadas normas que deberá justificarse el empleo de las compuertas de segmento para desagües profundos, cuando las cargas de agua excedan de 40 metros.

Las secciones correspondientes a las dimensiones establecidas en las normas recogidas anteriormente son respectivamente:

- Para válvulas circulares: 0,785; 1,131; 1,767; 2,545, y 3,142m<sup>2</sup>.
- Para cierres rectangulares: 0,800; 1,250; 1,875; 2,700 y 3,300 m<sup>2</sup>.

### 2.1.1.2 Desagües profundos.

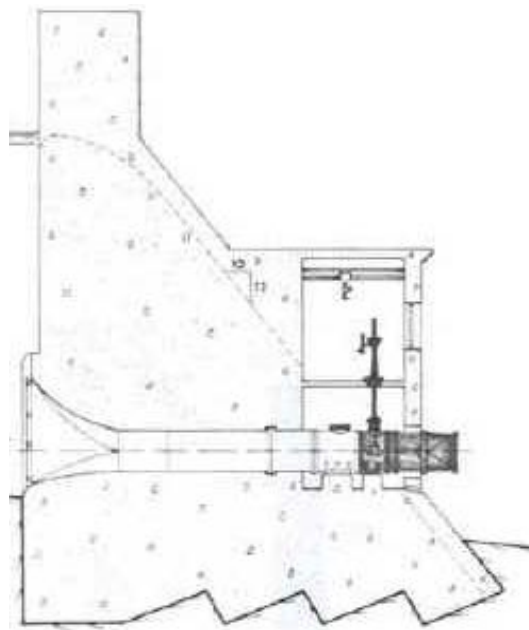
Estos desagües son análogos a los desagües de fondo, pero además de cumplir su misión de poder vaciar el embalse, tienen como función primordial el suministro regular o en algunas épocas, de agua al propio cauce del río aguas debajo de un embalse, para cubrir

cualquier necesidad de dar caudales variables, o complementar el caudal proporcionado por otros desagües, para riegos, utilización de centrales hidroeléctricas en saltos de aguas abajo del embalse, usos industriales y abastecimientos de aguas.

En los desagües se requiere, casi siempre, dar unos caudales determinados y por ello, aunque deben de estar bien dotados de doble cierre los conductos, se precisa que el segundo de dichos cierres, o sea el de maniobra, permita una regulación de caudales, o sea el que trabaje de forma estable con aperturas parciales. La posición de apertura de este segundo cierre debe, por tanto, variar con la carga del embalse y el caudal requerido en cada momento.

La disposición de estos desagües de fondo de los que se diferencian fundamentalmente en que los elementos de obturación deben ser de tipo adecuado para regulación, y en que se dotan algunas veces de una reja, y en ciertos casos de una ataguía en la entrada.

En las tomas profundas, cuando hay cierres reguladores, es conveniente situar al menos éstos en la salida del conducto (fig.2.8).



**Figura 2.8** *Válvula de chorro en desagüe profundo.*

Los elementos de cierre que se emplean son los mismos que los citados anteriormente para los desagües de fondo a los que hay que añadir las válvulas específicas de regulación, los elementos de ataguado y rejas citadas anteriormente.

Como complemento a los cierres citados anteriormente, añadiremos, pues:

- k) Válvulas de regulación de paso anular y entre ellas la equilibrada hidráulicamente Larnier Jhonson.

- l) Válvula de chorro hueco cilíndrico.
- m) Válvulas de manguito, también llamadas de chorreo cónico o Howell-Bunger.

Como elementos auxiliares de las instalaciones de desagüe de fondo o desagüe profundo, a emplear según los casos, según se ha indicado anteriormente, deben citarse:

- n) Revestimientos metálicos o tuberías.
- o) Rejillas fijas o móviles.
- p) Ataguías.
- q) Instalaciones de desentramamiento.
- r) Instalaciones de aducción de aire.
- s) Instalaciones de derivación o by-pass.

Y también:

- t) Instalaciones eléctricas para maniobra.
- u) Puentes grúa para montaje y mantenimiento en las cámaras o casetas de mecanismos.
- v) Instalaciones de ventilación de las cámaras.
- w) Grupos electrógenos de reserva.

Se debe puntualizar que como cierres de seguridad, que no deben trabajar, salvo durante su maniobra, con aperturas parciales se deben considerar los a), b), c), e), f), i) y j) y como cierres de regulación los h), j), k) l) y m), sin embargo es desaconsejable el empleo de la válvula de mariposa como cierre de regulación en cuanto las cargas sobrepasen de unos 25m. y prácticamente en todos los casos cuando su diámetro pase de 1,50 m., pues contra lo que puede creerse, en este tipo de válvula se producen con aperturas parciales grandes desequilibrios y problemas de aireación con el consiguiente peligro de fuertes vibraciones.

Las compuertas de segmento que son un excelente elemento de cierre y regulación deben también emplearse con precaución para cargas de aguas elevadas, mayores de 40m. y siempre deben proyectarse cuidadosamente la obra en su salida y disposición de los mecanismos, de forma que el rulo y resalto que en el desagüe pudieran producirse, no den lugar a perturbaciones en las descargas totales o parciales.

Entre los cierres de seguridad, el tipo más generalmente empleado es el de compuerta rectangular de tipo americano (a) por ser un cierre extraordinariamente seguro. Es preferible, en caso de precisar grandes secciones de desagüe de fondo. Subdividir el mismo en más de dos conductos y emplear aún este tipo de compuertas que no suele plantear nunca problemas.

También se emplea por ser muy seguro como cierre de maniobra en los desagües de fondo, el tipo de compuerta circular de anillo (b) que proporciona un excelente cierre y un desagüe sin perturbaciones, pero que precisa un desagüe eficaz de la cámara de alojamiento inferior y cuyo coste es más elevado que los anteriores. No debe emplearse como válvula reguladora.

En los conductos circulares de dimensiones reducidas, hasta aproximadamente 1,5 Ø es también un excelente cierre de seguridad la válvula de compuerta con doble cierre de impermeabilización en cuña.

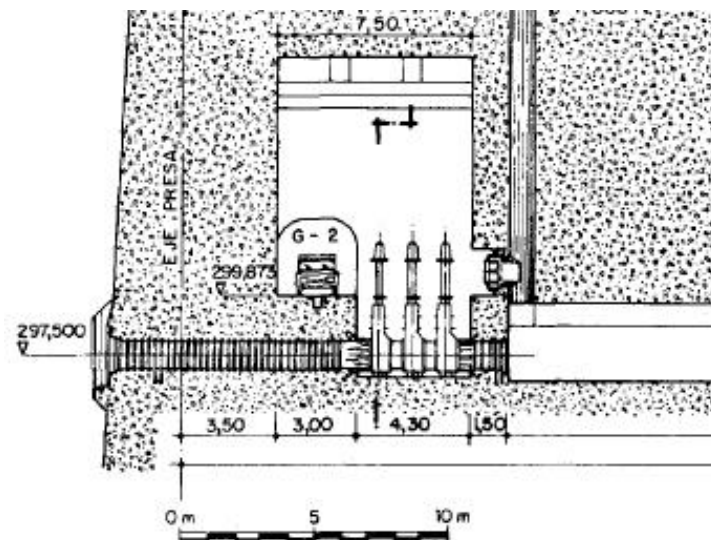
Como cierres de regulación son aconsejables las válvulas de paso anular (k) y especialmente de estas equilibradas; las válvulas de manguito (m) y las compuertas de segmento (h), estas últimas para cargas hasta de 40m.



## 2.1.2. Descripción de los cierres para desagües de fondo y desagües profundos.

### 2.1.2.1 Compuerta rectangular deslizante de tipo americano.

Para cortar la circulación de agua de los conductos de desagüe de fondo se emplean hoy casi exclusivamente, estas compuertas rectangulares de tipo americano (fig.2.9 y fig.2.10), sobre las que hay una gran experiencia después de muchos años de funcionamiento y a las que se han ido introduciendo las modificaciones y mejoras que la práctica ha ido aconsejando. Este tipo de compuerta fue desarrollado por Bureau of Reclamation del Departamento del Interior de Estados Unidos y se empleó en muchas presas americanas, siendo después adoptado en las instalaciones europeas por las ventajas que proporciona.

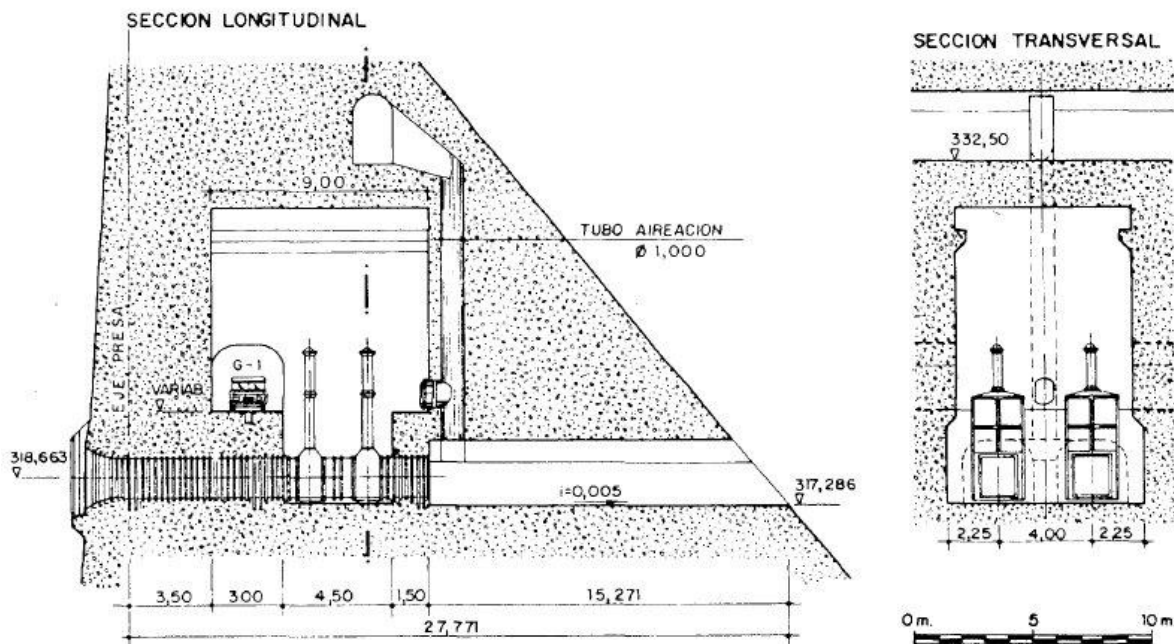


**Figura 2.9** Compuerta rectangular deslizante de tipo americano en desagües de fondo.



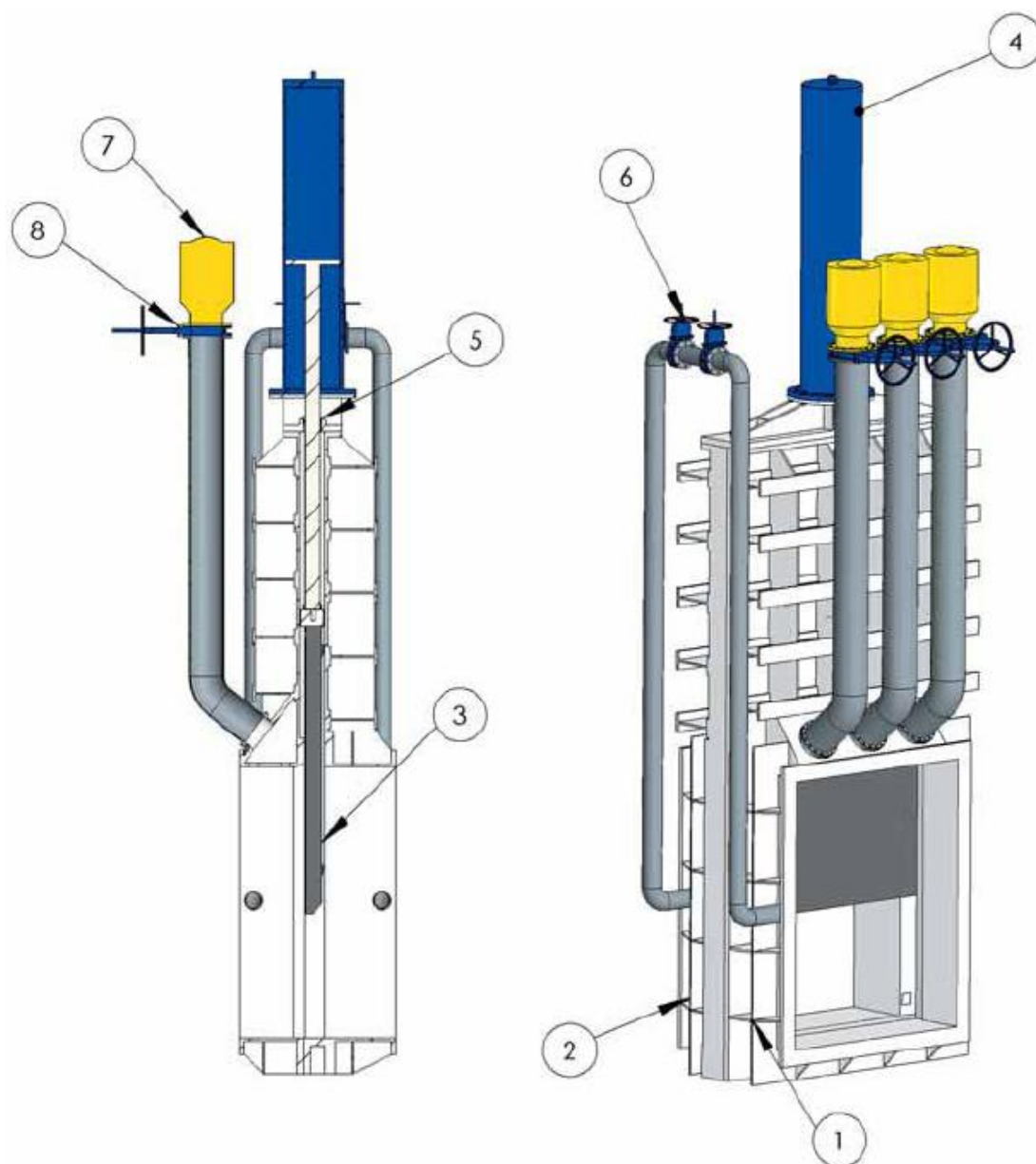
**Figura 2.10** Compuertas Bureau en desagües de fondo.

Este tipo de compuerta se emplea colocando dos elementos en serie en cada conducto del desagüe de fondo o de desvío empleados posteriormente como tales (fig.2.11). En el caso de que se sitúen en galerías donde se dispongan dos o más conductos, hay que estudiar cuidadosamente los revestimientos y la aireación perfecta de los desagües. En el caso de conductos a través del cuerpo de presa la mejor solución es la de instalarlos totalmente independientes en sus salidas, a partir del segundo cierre.



**Figura 2.11** Compuertas Bureau en serie en desagües de medio fondo

Se trata de una compuerta formada por un tablero deslizante y marco con prolongación cerrada para alojamiento del tablero en su posición de abierta, dispuesta para ser empotrada en hormigón al que se transmite los esfuerzos (fig.2.12). El accionamiento se realiza desde una cámara superior por medio de un vástago que atraviesa la parte superior del alojamiento del tablero por medio de prensaestopas. El vástago se maniobra empleando un mecanismo de cilindro o pistón (crick) por medio de aceite a presión o también por medio de un mecanismo husillo roscado. En ambos casos dicho mecanismo va fijo a la parte superior del alojamiento del tablero formando así un conjunto único. El vano de la compuerta con el tablero elevado queda completamente libre y en su solera no hay resalto ni hueco alguno.



1 Semi cuerpo 1      2 Semi cuerpo 2      3 Tablero      4 Cilindro hidráulico      5 Estopero  
6 Dispositivo de by-pass      7 Dispositivo de aducción de aire      8 Válvula de seguridad de la ventosa

**Figura 2.12** Componentes de la compuerta Bureau

También se emplea este excelente tipo de compuerta como cierre de seguridad en desagües profundos reguladores.

Debe añadirse el que este tipo de cierre no debe permanecer funcionando con aperturas parciales sino que debe trabajar cerrado o totalmente abierto, pasando solamente por posturas intermedias durante la maniobra de apertura o cierre. Si en algún caso especial fuera necesario emplear este tipo de compuerta como elemento circunstancial de regulación, la carga no debe sobrepasar del 70% del nominal.

A continuación se describen los diferentes elementos de que consta este tipo de obturador.

- Tablero.

El tablero de tipo deslizante tiene sus caras, tanto anterior como posterior, lisas, unidas entre sí por una serie de costillas o nervios horizontales, no presentando así obstáculos para su maniobra. El tablero es así de una sola pieza y si se corta por planos horizontales, resultará descompuesto en una serie de dobles T; su sección por un plano horizontal, se aproxima a una viga de igual resistencia.

Este tablero se construye, según la carga en fundición gris de buena calidad, acero fundido, o acero moldeado y sus coeficientes de trabajo se fijan para la máxima carga a que estará sometido con valores inferiores a los que se admiten para el material con que están contruidos (tabla 2.1). Aunque estas compuertas, como se ha indicado, deben trabajar totalmente abiertas o cerradas, siempre se pueden producir en ciertos puntos intermedios de su recorrido durante la maniobra algún efecto de vibración y de aquí y de los impactos producidos por el arrastre de cuerpos sólidos la reducción del coeficiente de trabajo.

Se suelen adoptar tableros de fundición gris hasta 30m. de carga y de acero moldeado desde 30 a 100m. ; sin embargo, es prudente aceptar:

**Tabla 2.1** Construcción del tablero en función de la carga

Carga	Material
20 a 30 m.	Fundición de hierro
30 a 100 m.	Semi acero
0 a 20 m.	Acero moldeado
Más de 100 m.	Laminado

Esto no quiere decir el que no se construyan tableros de acero moldeado, incluso para cargas reducidas en las que muchas veces se adopta así, sobre todo cuando se temen frecuentes impactos de cuerpos sólidos para los que el acero es más elástico que la fundición y el semi acero. También se construyen en acero moldeado en cargas superiores a los 100m. Aunque deben cuidarse, en este caso, con más detenimiento la aireación posterior al tablero y el diseño del mismo. En todo caso es muy conveniente que los tableros, ya sean fundidos en hierro o acero, o contruidos en laminado, hayan sido sometidos después de fundidos o soldados a un proceso de recocido para anular las tensiones residuales de fundición o soldadura.

Para efectuar el deslizamiento del tablero en su movimiento de apertura y cierre, y, al mismo tiempo, como elementos de cierre o impermeabilización, lleva en su cara de agua abajo en sus bordes laterales y superior unas guarniciones de metal inoxidable, bronce o latón laminados, o acero inoxidable, de ancho suficiente para trabajar con presiones específicas admisibles según el material de que se trate. Estas tiras, generalmente de sección de T van



encajadas en ranuras longitudinales cepilladas y se fijan fuertemente con tornillo también de material inoxidable que una vez apretados y fijos se cepillan juntamente con las bandas que forman la guarnición de cierre. En la parte inferior el tablero va solamente cepillado y su forma es redondeada para guiar los filetes líquidos con perfiles ensayados en laboratorio hidráulico.

- Marco de compuerta.

El marco de compuerta está formado por dos partes, anterior y posterior, que se unen entre sí por medio de bridas verticales y queda una vez armado, formando un verdadero conducto de sección rectangular dotado en su exterior de refuerzos y nervaduras y, dejando entre sí el espacio para el tablero que quedará encajado en dos ranuras o huecos laterales (fig.2.13). Lleva en su parte superior el hueco, también provisto de bridas, por donde pasa dicho tablero cuando se abre la compuerta. Las dos piezas anterior y posterior se construyen en fundición de hierro, semiacero, acero moldeado o laminado, según la carga y condiciones de funcionamiento. La fundición de hierro y el semiacero tienen la ventaja de resistir mejor los efectos de la oxidación; por ello es conveniente su empleo siempre que las condiciones de carga lo permitan. En el cuerpo posterior lleva guarniciones de material inoxidable, iguales a las del tablero, tanto en su parte posterior como en el tablero. Sobre estas guarniciones apoya el tablero transmitiendo la carga y efectuando la impermeabilización. Sobre las laterales desliza en su movimiento de apertura y cierre el tablero por lo que van prolongadas en toda su altura.



**Figura 2.13** Marco para compuerta Bureau.

Las dos partes de que se compone el marco suelen disponerse de la misma longitud en el sentido del eje conducto y el marco completo debe tener longitud suficiente para que el conducto quede protegido en la zona de los cierres evitando así que pueda descarnarse el hormigón por la erosión. La longitud mínima depende del tamaño de la compuerta y es recomendable no sea en ningún caso inferior a un metro.

El marco lleva orificios con asiento para unir a él por medio de bridas, las tuberías de by-pass, así como una cámara en la parte superior del cuerpo posterior e inmediatamente detrás del tablero provisto de orificios y de asientos para las tuberías de toma de aire. El aire es repartido detrás del tablero por una serie de orificios distribuidos en la parte superior de dicho cuerpo posterior, en su zona próxima al asiento del tablero, proporcionando así en una excelente aireado durante las maniobras de apertura y cierre de compuertas (fig.2.13).

También se dispone entre ambas piezas del marco un asiento para la parte inferior del tablero de metal Babbitt, aleación parecida a un metal antifricción. El metal Babbitt que es inoxidable proporciona un excelente asiento para el tablero y se obtiene así una buena impermeabilidad en el borde inferior del mismo donde no lleva guarnición de bronce. Por las características de este material, si se interpusiera en el cierre algún cuerpo sólido de pequeño volumen, como arenilla, queda incrustado en la solera al efectuar el cierre sin que el tablero sufra y proporcionando a pesar de ello una impermeabilización perfecta. La solera del metal Babbitt va fundida en una pieza que queda encajada entre las dos que constituyen el marco o bien es hoy frecuente la supresión de esta pieza que queda sustituida por una parte fija del marco dotada de ranura en forma conveniente para fundir en ella directamente el metal; en todo caso, la duración del metal es muy grande ya que no sobre sale de la solera y, por ello, no opone resistencia al paso del agua.



**Figura 2.14** Conjunto de compuerta Bureau

El marco construido en esa forma, es de gran robustez y peso por lo que el conjunto de la compuerta es muy sólido (fig.2.14). Es muy interesante que la parte fija sea de una gran masa para que pueda absorber sin detrimento las vibraciones que pueda producir el tablero en algún punto de su recorrido de maniobra. Algunos proyectistas recomiendan que el peso del marco más el de la cámara de alojamiento del tablero, que se describirá a continuación, o sea el peso de las piezas embebidas en el hormigón sea al menos de 5 veces el peso del tablero.

#### Cámara de alojamiento.

En la parte superior del marco y coincidiendo con el hueco de paso del tablero, se fija por medio de bridas la cámara de alojamiento del tablero, donde éste queda metido en la posición de apertura de la compuerta. Esta cámara está formada, lo mismo que en el marco, por dos piezas con nervaduras que se corresponden con las de aquél y van abrochadas por bridas verticales, constituyendo un cuerpo dotado de bridas superior e inferior. La brida inferior se abrocha a la del marco y la superior sirve para la unión a ella de la campana o elemento de cierre superior.

En la parte posterior de la cámara de alojamiento y en su interior lleva dos guarniciones de material inoxidable que son idénticas y quedan en prolongación de las del marco para que el tablero deslice sobre ellas en el movimiento de apertura.

La cámara de alojamiento está construida generalmente del mismo material que el marco de la compuerta.

- Tapa o campana de cierre.

La cámara de alojamiento va cerrada por su parte superior por una pieza acampanada provista de brida inferior igual a la de aquella para su unión por medio de tornillos. En su parte superior lleva una brida circular para fijar sobre ella el mecanismo de accionamiento. Lleva entre ambas bridas un orificio provisto de prensaestopas para que dé paso al vástago de accionamiento (fig.2.15).



**Figura 2.15** Campana y vástago para compuerta Bureau.

La tapa se construye para pequeñas cargas en fundición o semiacero y para cargas más elevadas en acero moldeado o laminado. Por resultar sometida a grandes esfuerzos de tracción al cerrar la compuerta y, sobre todo, en caso de forzar algo el cierre es aconsejable su construcción en todo caso en acero moldeado o en casos especiales en acero laminado.

- Vástago.

La maniobra del tablero de cierre se efectúa por medio de un vástago de acero inoxidable, o bien de acero forjado encamisado en bronce o en acero inoxidable, en toda la zona que pueda estar en contacto con el agua e incluso de paso por el prensaestopas. El vástago se fija al tablero mediante una tuerca provista de freno de inmovilización para que no pueda aflojarse y por el extremo opuesto actúa el mecanismo por lo que, o bien va fileteado constituyendo un husillo roscado o termina en otra tuerca para su unión a un émbolo.

- Mecanismos de accionamiento.

Se emplean en estas compuertas dos tipos de mecanismo: el más generalizado es un cilindro de acero con bridas y tapa constituyendo un cuerpo de bomba y un émbolo conocido generalmente con el nombre de crick de aceite (fig.2.16). Por medio de una bomba de engranaje o de husillos (antiguamente se utilizaban también bombas de émbolo) se introduce aceite a presión por la cara inferior o superior del émbolo consiguiendo así la apertura o cierre de la compuerta. Completan el mecanismo las instalaciones de distribución de aceite, válvulas y tuberías, y un depósito almacén de aceite. También debe dotarse la compuerta de un indicador visible de apertura y unas mordazas automáticas o semiautomáticas de fijación del tablero en su posición de abierto.



**Figura 2.16** Accionamiento mediante bomba y crick de aceite.



Otro mecanismo muy empleado, sobre todo en cargas de hasta 80m. es el de husillo roscado, en el que el extremo roscado del vástago es accionado por una tuerca de bronce montada sobre rodamientos que se hace girar por intermedio de los pasos de engranajes convenientes, por medio de manivela. Este mecanismo es excelente en cuanto a su funcionamiento, incluso con las cargas más elevadas y su limitación se debe a que resulta muy costoso para grandes diámetros de husillo. Sin embargo, debe tenerse en cuenta, que presenta la enorme ventaja de no producirse movimiento alguno del tablero como puede suceder en los de cierre a presión, al cabo de cierto tiempo, cuando a través de prensaestopas pueda producirse, una pequeña fuga de aceite.

El mecanismo de husillo forma también un conjunto con la compuerta por ir montado sobre una columna generalmente de acero moldeado abrochada a la brida superior de la tapa. Llevan también un indicador de posición de la compuerta que suele estar formado por un índice enlazado a la parte superior del husillo roscado que desliza sobre una escala graduada.

Estas compuertas deben dotarse en todos los casos de mecanismos con potencia suficiente para abrirlas desequilibradas con la máxima carga, aun a pesar de que vayan dotadas de dispositivos equilibradores de presiones.

Para calcular la potencia necesaria de un mecanismo debo tomarse el peso del tablero, vástago y todos los elementos a él unidos que tengan desplazamiento y añadirle el esfuerzo de rozamiento del tablero tomando la máxima carga estática, más los efectos dinámicos si por las condiciones de la instalación puedan presentarse. El coeficiente de rozamiento aconsejable según el material empleado para las impermeabilizaciones oscila entre 0,5 y 0,6 siendo preferible la utilización de este último valor.

Cuando se utiliza aceite a presión es aconsejable emplear presiones comprendidas entre 40 y 100kg/cm<sup>3</sup> o en todo caso no sobrepasar mucho el límite superior indicado puesto que, a pesar de la calidad de las empaquetaduras hoy utilizado, se corre el riesgo de que el aceite gotee por los prensaestopas a menos que se disponga de un servicio de vigilancia y conservación constante.

- Instalaciones auxiliares.

Posteriormente a la descripción de los diferentes tipos de cierre se describen las instalaciones auxiliares de que deben ir dotados los desagües de fondo y tomas profundas dando algunas normas y recomendaciones, sin embargo, detallaremos las que entendemos deben emplearse cuando se utilizan las compuertas rectangulares de tipo americano.

Debe completarse esta instalación con las tuberías para by-pass y válvulas (fig.2.17) siendo aconsejable que éstas sean del tipo de husillo exterior de acero inoxidable. Sería recomendable emplear en las instalaciones de by-pass, al menos en la compuerta de agua arriba, dos válvulas auxiliares en serie y maniobrar exclusivamente la segunda en las operaciones de equilibrado.



**Figura 2.17** Sistema de By-pass en una conducción.

Otro dispositivo es la instalación de aducción de aire formada por os tubos y válvulas auxiliares, así como ventosas si lo requiere la instalación. Es aconsejable, siempre que sea posible, dejar un conducto al construir la presa que llegue hasta un punto de toma de aire a cota superior que la de máximo embalse con lo que se evita el uso de ventosas.

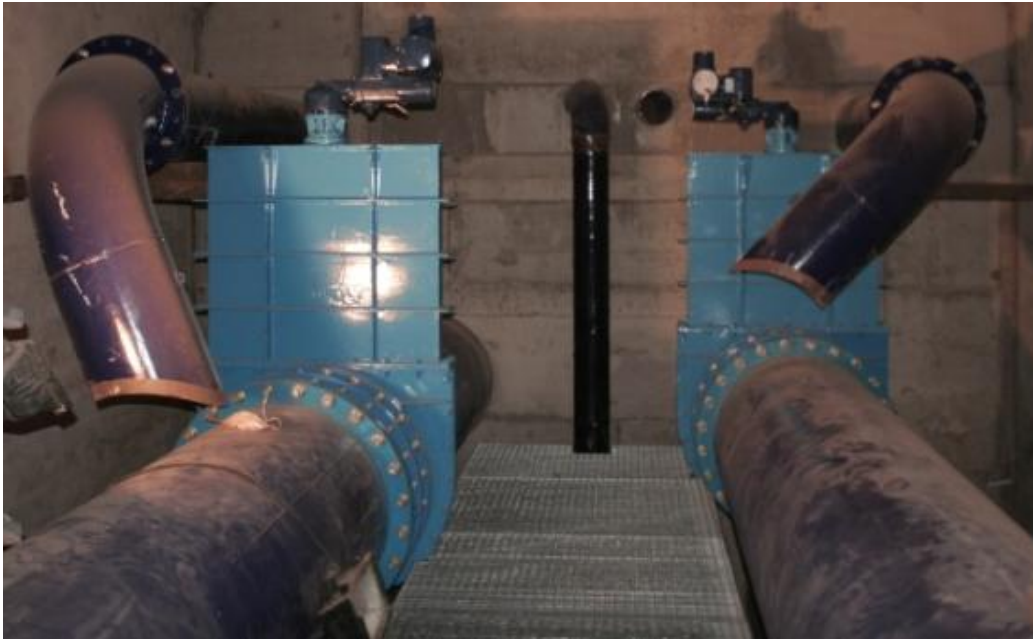
También deben disponerse en las cámaras de maniobra instalaciones de desagüe de filtraciones con los tubos y válvulas convenientes.

Entre las instalaciones auxiliares deben contarse la instalación eléctrica para alimentación de los mecanismos y, también, una instalación de alumbrado de la cámara de maniobra y sus accesos.

Por último, en caso de cámaras con un ambiente de gran humedad, sería recomendable instalar un dispositivo de ventilación así como elementos de calefacción y cuadros eléctricos.

#### **2.1.2.2 Compuerta circular de anillo de tipo americano.**

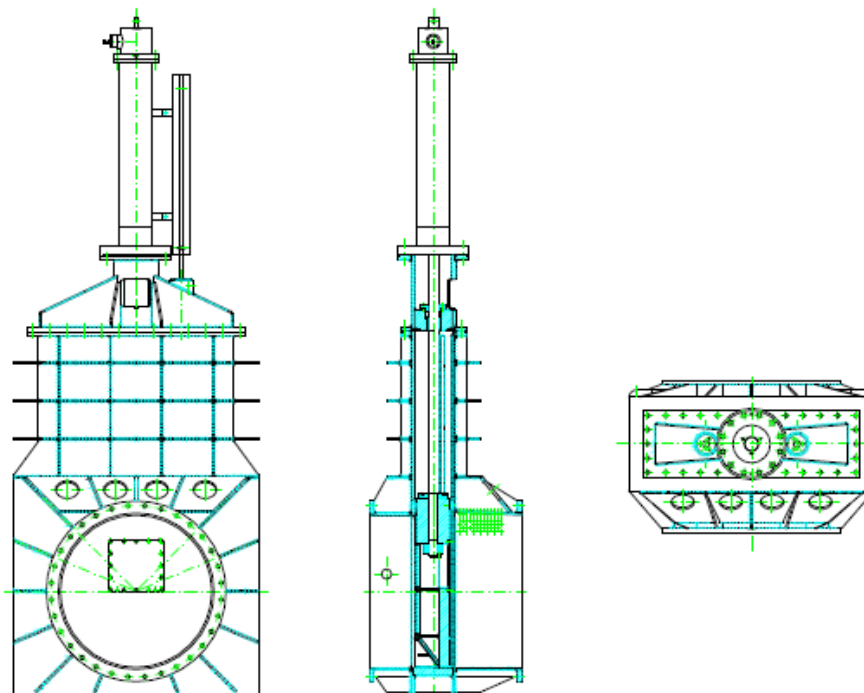
Para desagües sometidos a gran carga, mayor de 100m., en que las velocidades de paso por los conductos son muy elevados pueden producirse fenómenos de cavitación y perturbaciones importantes en los huecos laterales, y hasta fuertes depresiones en las cámaras de alojamiento de las compuertas rectangulares de tipo americano descritas anteriormente y para evitar estos inconvenientes fue creado el tipo circular de aro o anillo (fig.2.18) de construcción análoga al ya citado paso, en el que el tablero en su parte inferior va prolongado llevando un anillo del diámetro del conducto que al abrir la compuerta queda alojado en el hueco ocupado por el tablero cuando está en posición de cerrado, de forma que proporciona una continuidad en la tubería, lo que garantiza una descarga regular sin perturbaciones.



**Figura 2.18** *Instalación de dos compuertas circulares de anillo tipo americano*

Este tipo se emplea también para cargas más reducidas en aquellos casos que se requiere una continuidad en la tubería para evitar pérdida de carga y perturbaciones.

Este tipo de compuerta, lo mismo que el anterior, no debe trabajar con aperturas parciales, y por ello no debe utilizarse como cierre regulador.



**Figura 2.19** *Esquema de compuerta circular de anillo de tipo americano*

Como podemos ver en la fig. 2.19, la compuerta es análoga en la descripción de sus elementos a las descritas anteriormente de las que se diferencia fundamentalmente por el anillo de que va dotado el tablero en su parte inferior y por requerir unida al marco una segunda cámara de alojamiento inferior que ocupará el anillo cuando la compuerta está cerrada. Por ir situada esta segunda cámara de alojamiento en la parte inferior, es necesario que vaya dotada de una tubería limpia, ya que, a pesar de que dicho anillo ajusta bien dando continuidad a la tubería, siempre podrán depositarse en ella fangos, arenas y otros sedimentos, cuya mayor parte podrán pasar en la maniobra de cierre. Exige por ello, este tipo de cierre, una continua vigilancia y limpieza periódica a través del desagüe inferior accionando para ello la válvula o válvulas de que va dotado este desagüe; válvulas que deberán estar colocadas en lugar de fácil acceso para su maniobra.

El aro o anillo prolongación del tablero se construye generalmente del mismo material que el tablero en pieza parada que se une al tablero por sólidos tornillos provistos de frenos para evitar que puedan aflojarse. Este aro va provisto de guarniciones circulares de material inoxidable que apoyan y deslizan por las mismas guarniciones de asiento del tablero convenientemente prolongadas (fig.2.20).



**Figura 2.20** Conjunto de compuerta circular de anillo de tipo americano

La cámara de alojamiento del anillo, es de construcción nervada análoga a la de la cámara superior y va dotada de una tapa inferior de forma conveniente, y provista de brida para el enlace de la tubería limpia.

La descripción de los elementos de este tipo de compuerta y sus mecanismos de maniobra son análogos a los descritos para las compuertas rectangulares descritas anteriormente salvo las variaciones apuntadas.

Como instalaciones auxiliares, deben citarse dispositivos de by-pass, aducción de aire, desagüe de limpia, instalaciones eléctricas, así como los complementarios citados anteriormente (fig.2.21).



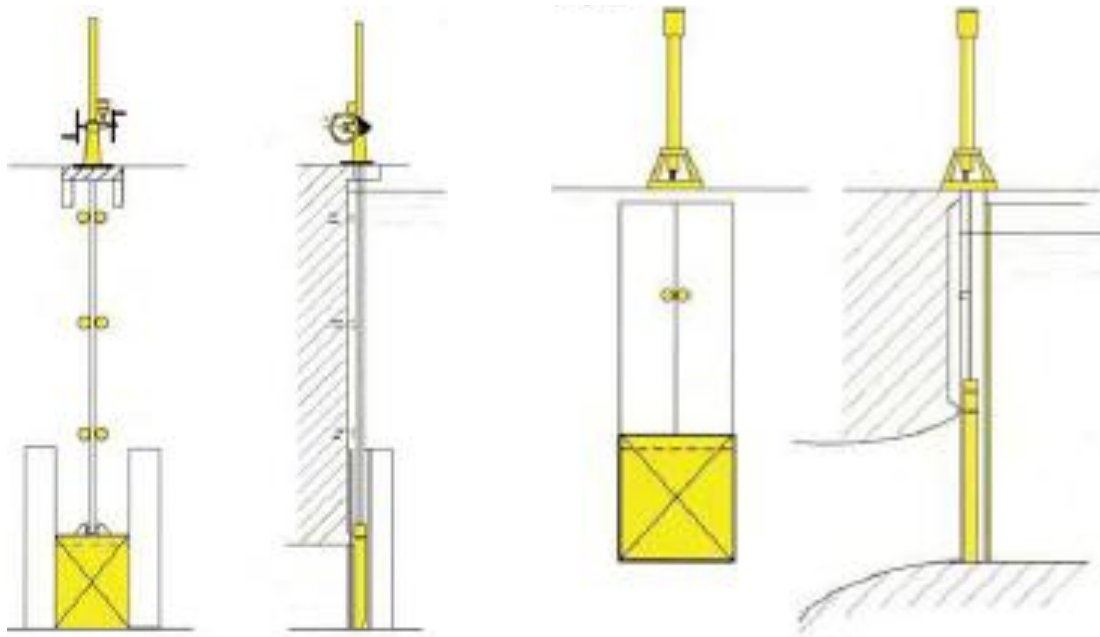
**Figura 2.21** *Cilindro de accionamiento y elementos auxiliares de compuerta circular de anillo de tipo americano*

Sobre las instalaciones auxiliares de los desagües de fondo se dan algunas normas al final de la descripción de los diferentes elementos obturadores.

### **2.1.2.3 Compuertas deslizantes.**

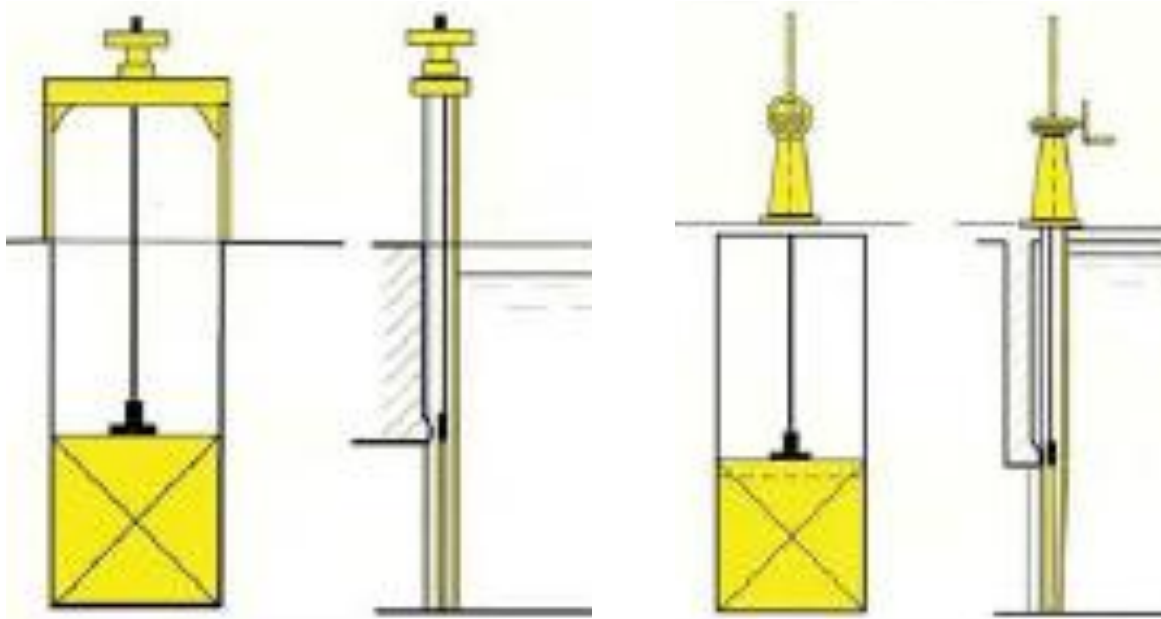
Se suelen llamar también de tajadera, aunque con este nombre se designan, a veces, todas las compuertas de movimiento vertical, aunque vayan dotadas de rodillos.



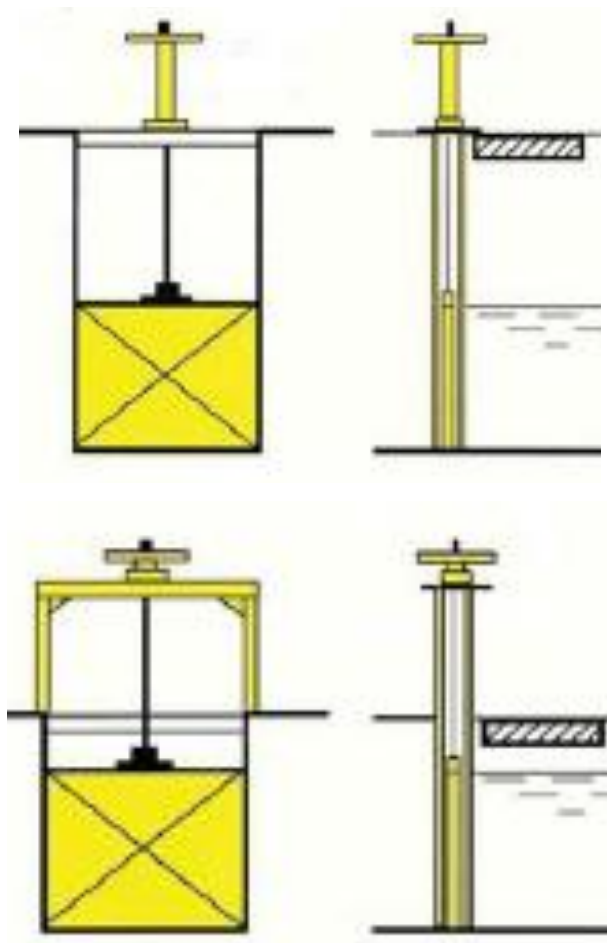


**Figura 2.22** Compuerta tajadera de fondo de tipo H y de tipo H-F con mecanismo hidráulico

Se emplean en algunos casos de cargas reducidas compuertas de tipo deslizantes, constituidas por un tablero metálico de cierre, formado por perfiles laminados o fundido, y dotado de guarniciones de material inoxidable para impermeabilización y soporte de empuje. El tablero desliza sobre un marco con laterales prolongados, dotado, también, de impermeabilizaciones de material inoxidable, para asegurar el cierre y facilitar el desplazamiento del tablero (fig.2.22 y fig.2.23).



**Figura 2.23** Compuertas tajadera de superficie con cabezal y con columna



**Figura 2.24** *Compuertas tajadera de fondo con cabezal y con columna*

También se disponen armaduras de guía lateral y de contrapresión, que se acoplan formando ranuras laterales, y que sirven para que el tablero en su movimiento, no pueda desplazarse de su postura correcta. Llevan también armaduras metálicas en muchos casos, para apoyo del tablero cuando se encuentra en postura de cierre.

Se accionan por medio de un vástago, y en algún caso especial dos, husillo roscado, cremalleras o cadenas. El mecanismo de accionamiento se dispone por encima del nivel máximo que pueda alcanzar el agua, aunque en ciertos contados casos, se sitúan a nivel inferior al del agua disponiendo en el hueco de la compuerta, armaduras metálicas con tapa, que es atravesada por el vástago por un prensaestopas (fig.2.24). También en contados casos, cuando se instala crick de aceite, se puede disponer el cuerpo del cilindro inundado.

Este tipo de compuerta puede ir dotado de una compuertilla auxiliar de by-pass para equilibrar presiones, siempre que agua abajo se disponga de otro cierre seguro.

En desagües de fondo y desagües profundos, se han abandonado casi completamente este tipo de compuerta, que prácticamente no se usa hoy más que en ciertos casos en desagües de antecanales o cámaras de carga.

#### 2.1.2.4 Compuertas VAGON.

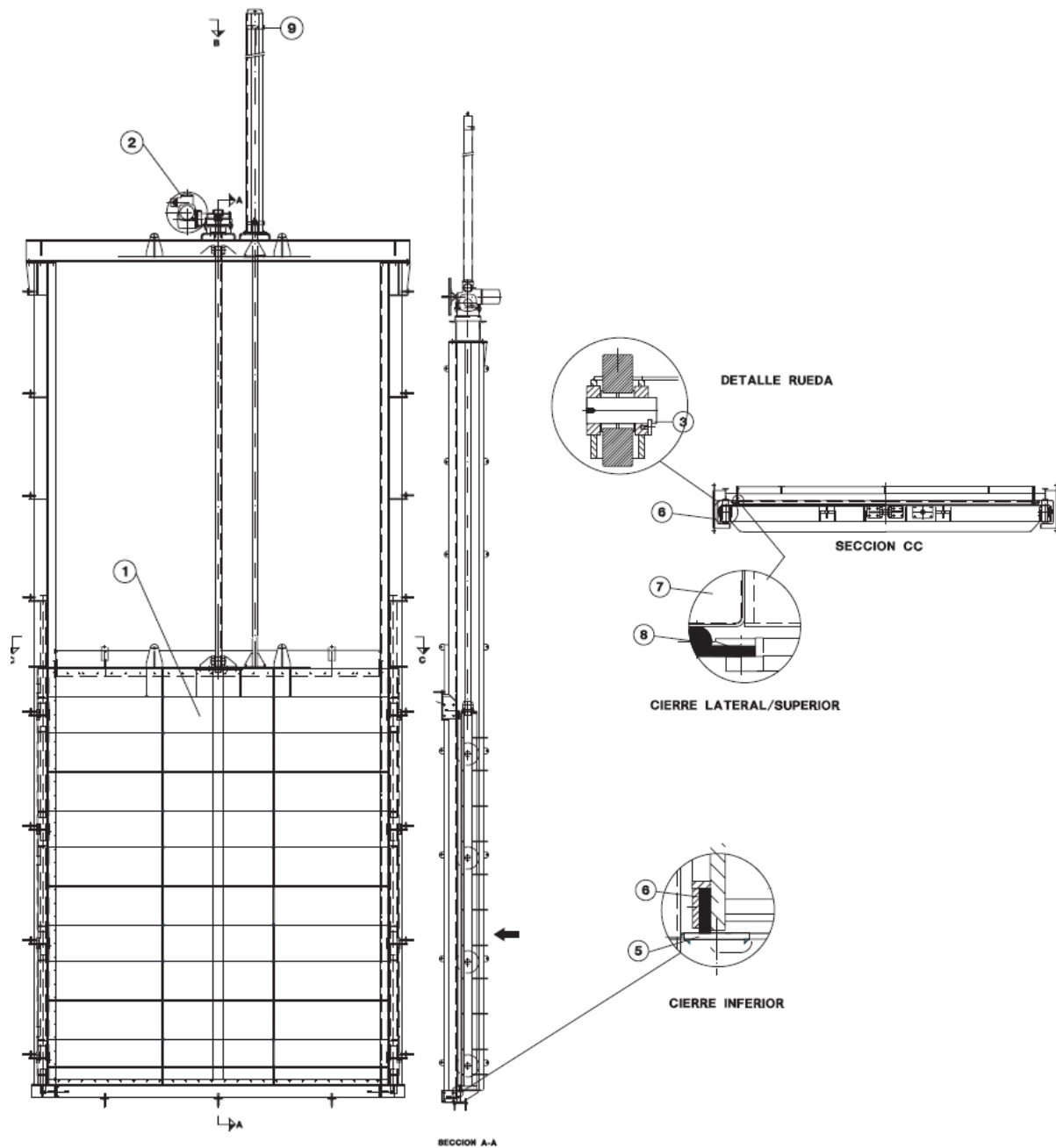
Se utilizan en ciertos casos en desagües de fondo, cuando se desean conductos de grandes dimensiones, pero su verdadera aplicación, la tienen en tomas profundas.



**Figura 2.25** *Compuertas vagón ubicada en un canal.*

Los elementos principales de una compuerta vagón según podemos ver en la fig.2.26 son el tablero de cierre o compuerta propiamente dicha, el marco de asiento y guías, y el mecanismo de accionamiento.





- 1 Tablero    2 Accionamiento    3 Ruedas    4 Partes fijas inferiores    5 Asiento inferior  
6 Partes fijas laterales    7 Asiento lateral    8 Junta lateral/inferior/superior    9 Regleta Indicación

**Figura 2.26** Componentes de una compuerta vagón.

- Tablero.

El tablero va dotado para disminuir el esfuerzo de maniobra de rodillos con ejes fijos a la estructura resistente del mismo, o bien montados en carretones que a su vez van enlazados al tablero y de aquí, el nombre de estas compuertas.

En la figura 2.27 podemos ver el tablero de una compuerta vagón. Este tablero está formado por una estructura de perfiles laminados o vigas armadas horizontales, que se enlazan con dos vigas laterales verticales a las que van a trasladar sus cargas. Apoyadas sobre las vigas y las dos verticales suelen disponerse otras auxiliares verticales o cuadernas, e incluso a su vez otras horizontales de manera que se forme una retícula apoyada sobre las vigas horizontales y verticales extremas. Sobre este bastidor que forma recuadros, se apoya una chapa continua o chapa de recubrimiento que se suelda al bastidor y que impide el paso de agua. Es aconsejable el dar a esta chapa de recubrimiento de tablero, un sobreespesor de uno a dos milímetros sobre el obtenido por cálculo, para tener en cuenta los efectos de oxidación que pudieran producirse a lo largo del tiempo, Por la misma razón en los perfiles cuya conservación resulte difícil como pueden ser las vigas extremas laterales, se toman para el cálculo fatigas relativamente reducidas.



**Figura 2.27** *Tablero de compuerta vagón*

La chapa de recubrimiento se coloca normalmente en la parte de agua arriba del tablero y en ningún caso es preciso situarle por alguna razón agua abajo o en posición intermedia entre ambas capas se proyectará la compuerta con un esmerado cuidado para evitar el que pueda ser arrancada por la presión

Las impermeabilizaciones se disponen según las necesidades que debe cumplir la compuerta, bien por la cara de agua arriba o por agua abajo, aunque preferentemente se sitúan agua abajo. Constan de elementos flexibles que la presión adapta contra el marco fijo de cierre. Se utilizan para el dintel y laterales, piezas de goma especiales (formas en U, en nota

de música, en ángulo, pletinas, etc.), bandas metálicas flexibles, provistas de juntas de goma, madera bronce, etc., perfiles metálicos inoxidables móviles (con muelle u otros dispositivos) y, en algunos casos, maderas móviles o tubos. Como casos excepcionales se han utilizado dispositivos de impermeabilización formados por un tubo de goma que se hinche como un neumático para conseguir el cierre así como otros dispositivos como sistemas de cuñas, etc. La impermeabilización en solera se realiza generalmente con banda de goma colocada de canto en el borde inferior de apoyo del tablero, o también con perfiles en nota de música y otros dispositivos especiales. Es muy aconsejable que se disponga en la solera del tablero un durmiente de madera que sirve para amortiguar la parada y el cierre de la compuerta y que efectúe ya un cierre bastante perfecto que se complemente con la banda de goma.

Cuando la compuerta cierra contra un marco completo las impermeabilizaciones pueden ser idénticas en sus cuatro costados, pero siempre debe aconsejarse que se disponga un apoyo para que la parte inferior del tablero descanse cuando está en su posición de cierre.

Las fugas admisibles en las impermeabilizaciones, no deben exceder de  $1/5$  a  $1/2$  de litro por segundo y metro lineal de junta de estanqueidad, según el tipo de cierre y carga de agua.

- Rodillos y carretones.

El tablero transmitirá la carga a sus apoyos a través de rodillos llamados de presión (fig.2.28), y llevando además siempre que sea conveniente rodillos de guía lateral y de contrapresión.



**Figura 2.28** Rodillos empleados en una compuerta vagón

El número de rodillos de presión de que va dotado el tablero, depende de la carga que deben soportar, del material de que están contruidos y del diámetro y ancho de rodadura de rodillos. Para pequeñas cargas los rodillo pueden ser de fundición de hierro, o de fundición acerada y para cargas más considerables de ero moldeado. Los rodillos, según la carga que deben soportar, giran por intermedio de casquillos de bronce u otro material inoxidable, o bien van dotados de rodamientos de bolas, agujas o barriletes. En algún caso se utilizan casquillos autolubricantes, aunque lo más corriente es que vayan dotados de un buen sistema de engrase.

Los rodillos pueden ir fijos la mismo tablero o por el contrario ir montados en carretes que se enlazan al tablero por medio de apoyos adecuados, rótulas o articulaciones.

- Carriles guías y armaduras fijas.

En la figura 2.29 podemos ver una compuerta vagón ya instalada.

En el vano de cierre de la compuerta se dispondrán de perfiles metálicos formando un marco para asiento de las impermeabilizaciones.

Se completan estas armaduras del hueco por donde desliza la compuerta con carriles de presión, guías laterales y contrapresión.

Los caminos de rodadura suelen contruirse en acero, e incluso de acero especial con tratamiento si la presión es muy elevada. La longitud de estos carriles debe ser la de todo el recorrido de la compuerta y, el momento resistente debe calcularse de forma que la presión que se transmita al hormigón esté dentro de los límites admisibles. En las pilas, debe el proyectista de obra civil tener en cuenta los esfuerzos que transmite la compuerta, debido a la carga de agua para determinar el armado metálico de las ranuras.

Las guías laterales y de contrapresión deben estar prolongadas también en todo el recorrido de la compuerta y estarán constituidas por perfiles o carriles de acero.

Cuando el tablero debe subir en su apertura hasta la parte superior o se desea disponer para su revisión una cámara superior, las guías y carriles, o al menos algunas de ellas, deben estar prolongadas hasta la parte superior de forma que el tablero se desplace guiado en todo su recorrido.

Los huecos y nichos donde van alojados los dispositivos de carriles y guías deben proyectarse lo más reducidos posibles para disminuir los fenómenos que se producen al paso del agua.

En la parte de obra civil inmediatamente detrás del tablero debe preverse una fuerte aireación para evitar vibraciones y efectos de cavitación.



**Figura 2.29** Compuerta vagón instalada

- Mecanismo de accionamiento.

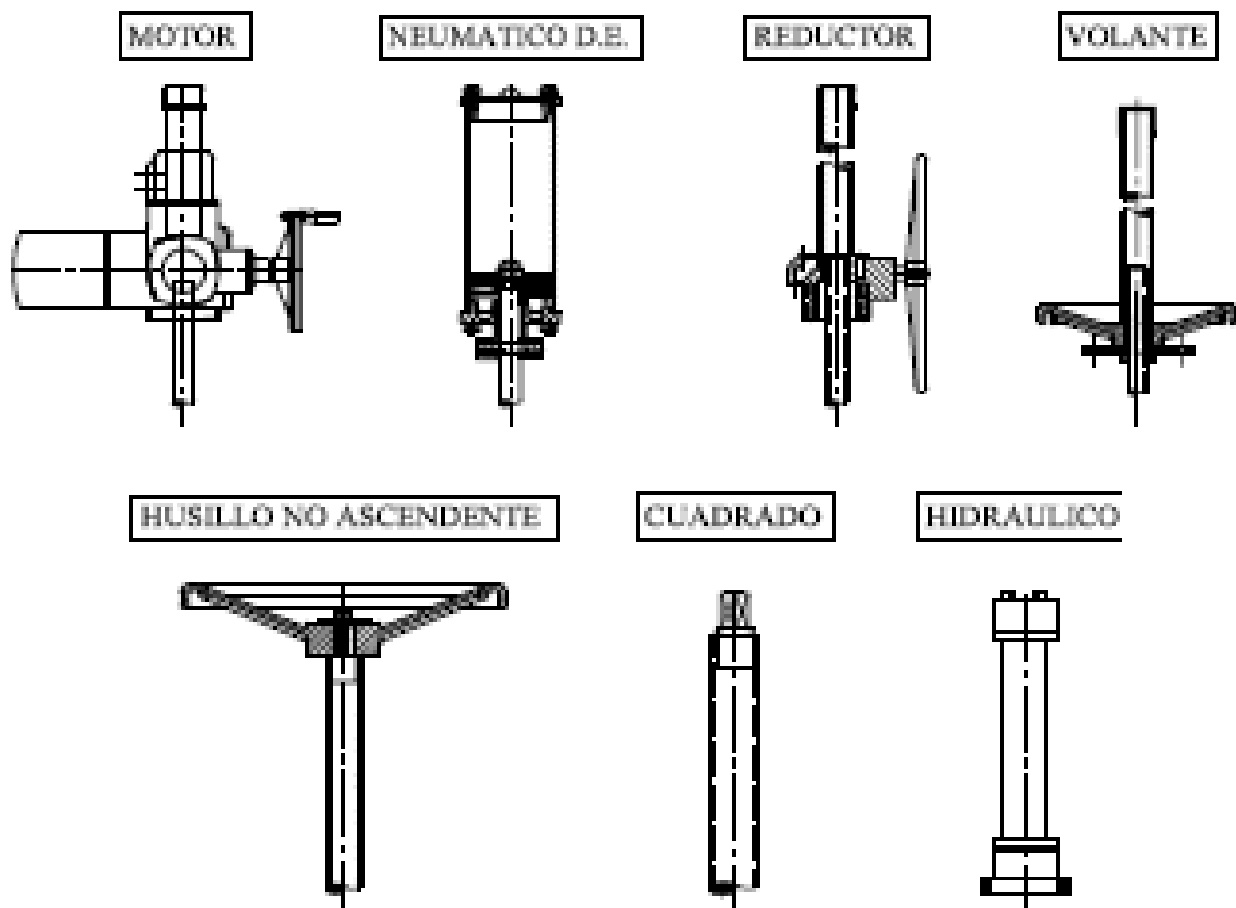
Es recomendable que los tableros cierren siempre por su propio peso para cualquier nivel del embalse, dotándolos de contrapeso si su peso, incluido rodillo, impermeabilizaciones y en algún caso parte de los elementos de suspensión, no fueran suficiente.

En algunos casos el tablero no es lo suficientemente pesado para bajar por su propio peso y, en lugar de contrapeso se dispone el mecanismo de forma que actúe para el cierre y apertura.

Para fijar la potencia del mecanismo de elevación deben considerarse y siempre en las condiciones más desfavorables los siguientes conceptos:

- a) Peso propio del tablero con rodillos impermeabilizaciones y elementos de maniobra que debe accionar el mecanismo de elevación.
- b) Efectos de sobrepresión superior o subpresión considerando el caso más desfavorable.
- c) Rozamiento producido por las impermeabilizaciones.
- d) Esfuerzos de rodadura tomando los coeficientes de reposo y con un margen de seguridad.
- e) Otros rozamientos posibles como prensaestopas, rodillo de guía, etc.
- f) Un margen de seguridad como reserva.

En la figura 2.30 vemos los distintos tipos de mecanismos de accionamiento. Éstos pueden ser de vástago, vástagos empalmados, cremalleras, cadenas o cables especiales, accionados por medio de un cabestrante mecánico movido por motor eléctrico o por un crik de aceite a presión. En todo caso, los mecanismos no deben ser reversibles y la compuerta debe quedar para da de forma estable, siempre que se interrumpa la corriente.



**Figura 2.30** *Mecanismos de accionamiento*

En muchos casos se emplean dos mecanismos gemelos, cuyo movimiento sincrónico debe estar garantizado por los dispositivos convenientes.

Es aconsejable que cada compuerta tenga su propio mecanismo y únicamente cuando su servicio se reduce a su empleo circunstancial de servicio análogo al de ataguías puede disponerse un mecanismo móvil para servir a varias compuertas.

- By-pass.

En algunos casos se dotan estas compuertas de instalaciones de by-pass independientes y en otras ocasiones se dispone en el mismo tablero una pequeña compuerta de equilibrado que es accionada por el mismo mecanismo de maniobra, disponiendo los elementos de suspensión deslizantes y con topes de manera que en una primera maniobra, abra la compuertilla de by-pass y una vez equilibradas las presiones se efectúa la elevación del tablero.

Aunque con este dispositivo puede disminuirse el refuerzo del mecanismo es aconsejable que al menos el cierre de la compuerta pueda verificarse con la carga máxima sin equilibrado alguno.

- Instalaciones auxiliares.

Debe contarse siempre con un accionamiento a mano, indicador de presión de aceite en el caso de crick, aireación, accesos para recisión, etc.

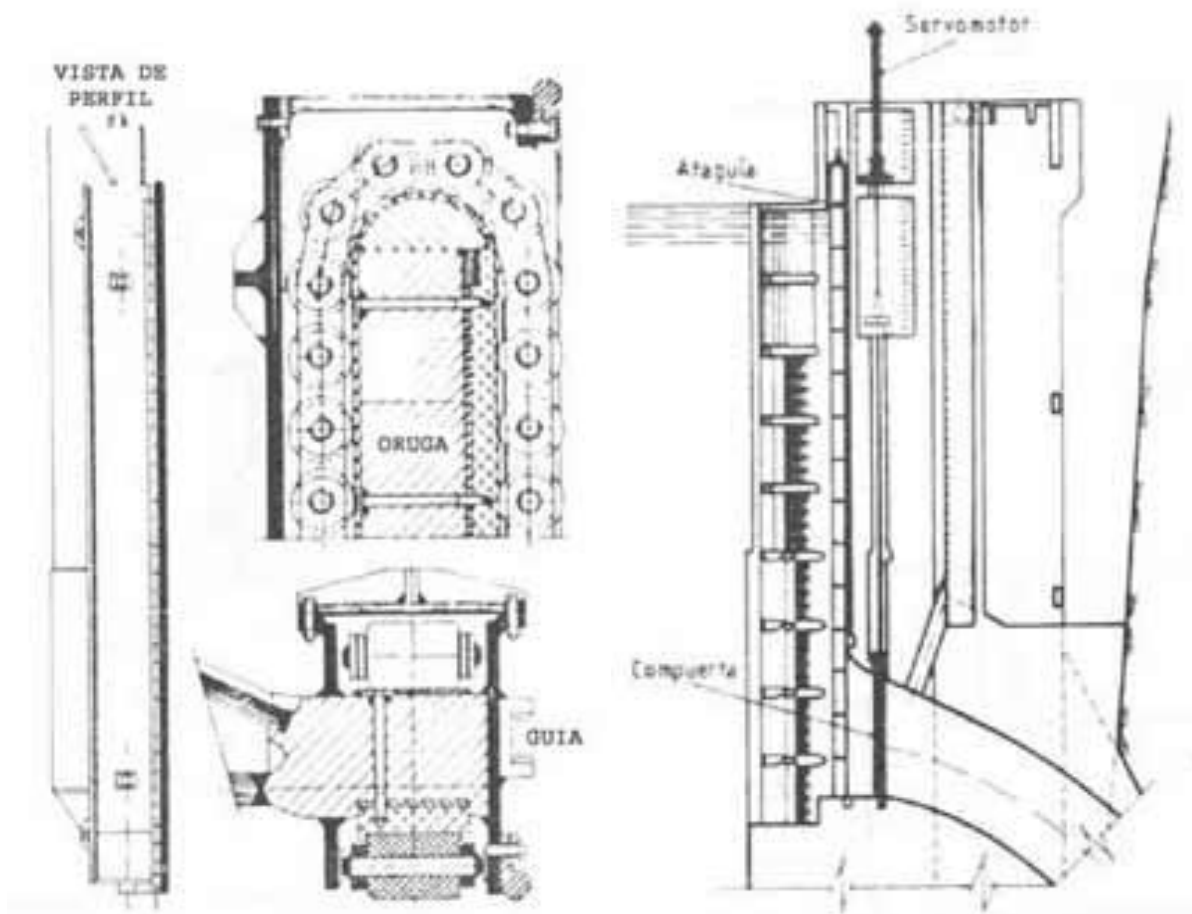
#### **2.1.2.5 Compuertas oruga.**

Este tipo de compuertas instaladas en tomas de agua de desagües profundos (fig.2.31), suelen utilizarse cuando los empujes que obran sobre ellas son excesivamente grandes, como consecuencia de sus dimensiones o por ser considerable su carga de agua.

Su construcción, en lo que se refiere a tablero, es de las mismas características que las compuertas Vagón, es decir, una estructura de perfiles laminados o vigas armadas horizontales, otras auxiliares verticales formando recuadros sobre los cuales apoya la chapa de recubrimiento del tablero. Las vigas horizontales se apoyan sobre dos verticales o de costado, las cuales son de distinta construcción que las de las compuertas Vagón, y sobre ellas se apoyan los trenes de rodillos que más adelante se mencionan (fig.2.31).

Las impermeabilizaciones se disponen según las necesidades de instalación de las compuertas, siendo generalmente de análogas características a las instalaciones en compuerta Vagón.





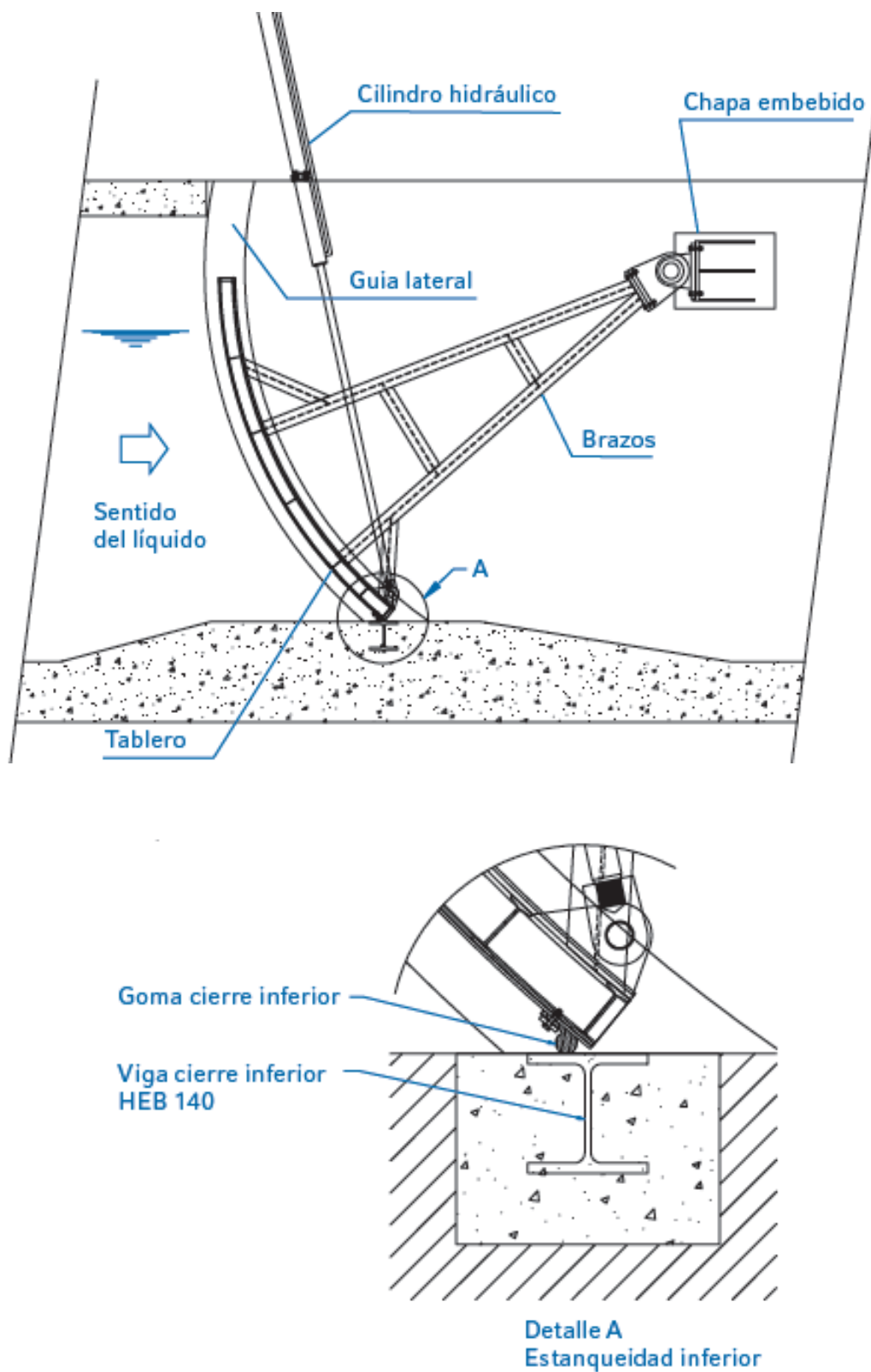
**Figura 2.31** Compuerta oruga en una toma de agua

Las compuertas van dotadas en cada costado de uno o varios trenes de rodillos que se asemejan a una oruga (de ahí su definición de compuerta oruga) consiguiendo con dichos trenes transmitir los esfuerzos de la compuerta sobre los carriles de presión, con uniformidad a lo largo de los mismos. Los rodillos hacen contacto en su periferia con los carriles de presión y diametralmente opuesto con una pista especial situada en las vigas de costado de la compuerta; dicha pista se desliza sobre los rodillos al ponerse en movimiento la compuerta, consiguiendo que el rozamiento de rodadura sea mínimo y con ello disminuir el esfuerzo de elevación.

#### 2.1.2.6 Compuerta de regulación Taintor.

La compuerta de segmento tipo Taintor, además de instalarse en aliviaderos de superficie o semifondo, tiene aplicación en desagües como elemento de regulación.

En la figura 2.32 podemos ver su esquema. Básicamente, el tablero consta de dos vigas principales convergentes, que van a incidir en los elementos de giro, siendo estas vigas las que soportan la presión hidráulica. Estas vigas principales en estos casos, suelen ser de alma llena.



**Figura 2.32** Esquema compuerta Taintor.

El resto del tablero lo componen cuadernas verticales que formando recuadros permiten que se apoye la chapa de recubrimiento, consiguiendo así la retenida del agua.

En los laterales lleva la compuerta dos vigas de costado, las cuales, además de soportar su carga hidráulica, soportan el esfuerzo de elevación que le transmiten los enganches situados en dichas vigas.

Los elementos de giro reciben los esfuerzos de la compuerta y lo transmiten a las vigas de apoyo situadas a continuación, las cuales empotradas sobre una viga de hormigón que atraviesa todo el vano, absorbe los esfuerzos, permitiendo un buen funcionamiento de la compuerta.

Las impermeabilizaciones constan de perfiles de goma en forma de ángulo van abrochadas a los revestimientos del conducto en sus laterales y dintel, permitiendo deslizarse a la compuerta en sus movimientos, y adosándose a ella cuando está cerrada como consecuencia del empuje del agua.



**Figura 2.33** *Compuertas Taintor en aliviadero.*

#### **2.1.2.7 Válvula compuerta.**

Esta válvula utilizada en tomas de agua o desagües reguladores, tiene por misión principal servir de cierre de seguridad a un conducto en el cual, y posteriormente a dicha válvula, va instalada una válvula reguladora (fig.2.34)



**Figura 2.34** *Válvulas de compuerta de cierre circular*

El cierre de estas válvulas lo efectúan dos aros de material inoxidable los cuales van adosados uno al tablero y el otro al cuerpo de la válvula.

En la figura 2.35 podemos ver un esquema de válvula compuerta y partes de la misma. El conjunto de la válvula se compone de cuerpo, tablero y campana, como elementos principales, y de by-pass, aducción de aire y tuberías de limpia, como elementos auxiliares.

- Cuerpo de válvula.

El cuerpo de válvula construido normalmente con material fundido, convenientemente nervado, tiene forma cilíndrica en su eje horizontal, con sus bridas para abrochar a la tubería que forma el conducto, y en su eje vertical tiene forma elíptica con una brida superior para abrochar a la campana. El cuerpo lleva unas guías laterales para que el tablero en sus movimientos de apertura y cierre pueda ser guiado y evitar con ello vibraciones al paso del agua.

- Tablero.

El tablero o elemento de cierre, tiene en su parte anterior forma de lenteja, y en su parte posterior, además de nervios de refuerzo lleva un asiento circular sobre el que se fija el aro de cierre. El tablero se construye generalmente de acero moldeado.

- Campana.

La campana abrochada al cuerpo de válvula sirve de alojamiento al tablero, y en su parte superior lleva una brida por la que desliza el vástago de accionamiento a través de un prensaestopas que sirve de guía para el vástago a la vez que proporciona un cierre estanco.



**Figura 2.35** Esquema de válvula compuerta y partes de la misma

Los elementos auxiliares descritos anteriormente, desempeñan las funciones siguientes:

El by-pass proporciona un equilibrio de presiones en las caras anterior y posterior del tablero, consiguiendo con ello abrir o cerrar el tablero sin oposición de resistencias al desaparecer los rozamientos. Con esto, la válvula no pierde su propiedad de seguridad al no trabajar nunca a plena carga y por tanto tener una gran duración.

En la parte inferior del cuerpo de la válvula existe un orificio con brida sobre la cual se abrocha una pequeña válvula y a continuación una tubería que termina en un pozo o galería de desagüe, este conjunto se denomina tuberías de limpia, y tiene por objeto el



eliminar las impurezas arrastradas por el agua y depositadas en la parte inferior del tablero, esta operación se efectúa abriendo la pequeña válvula, con lo que desaparecen las impurezas y por lo tanto dejan limpia la cavidad necesaria para el alojamiento del tablero en su cierre.

#### 2.1.2.8 Válvula mariposa.

Como podemos ver en la figura 2.36, la válvula mariposa consiste esta válvula en un cuerpo cilíndrico con dos bridas en sus extremos que se abrochan a la tubería, y en un disco de cierre que obtura el paso del agua. Estas válvulas suelen utilizarse generalmente como cierre de seguridad delante de otro cierre regulador, o bien delante de una turbina en una central.



**Figura 2.36** *Válvula de mariposa.*

El cuerpo de la válvula puede ser de acero laminado o bien de material fundido y lleva diametralmente opuestos dos orificios que con sus cojinetes permiten el paso del eje a través de prensaestopas para evitar fugas de agua. Este eje va enchavetado con el disco de cierre y en su movimiento de rotación, que le proporciona el mecanismo, efectúa la apertura o cierre de la válvula.

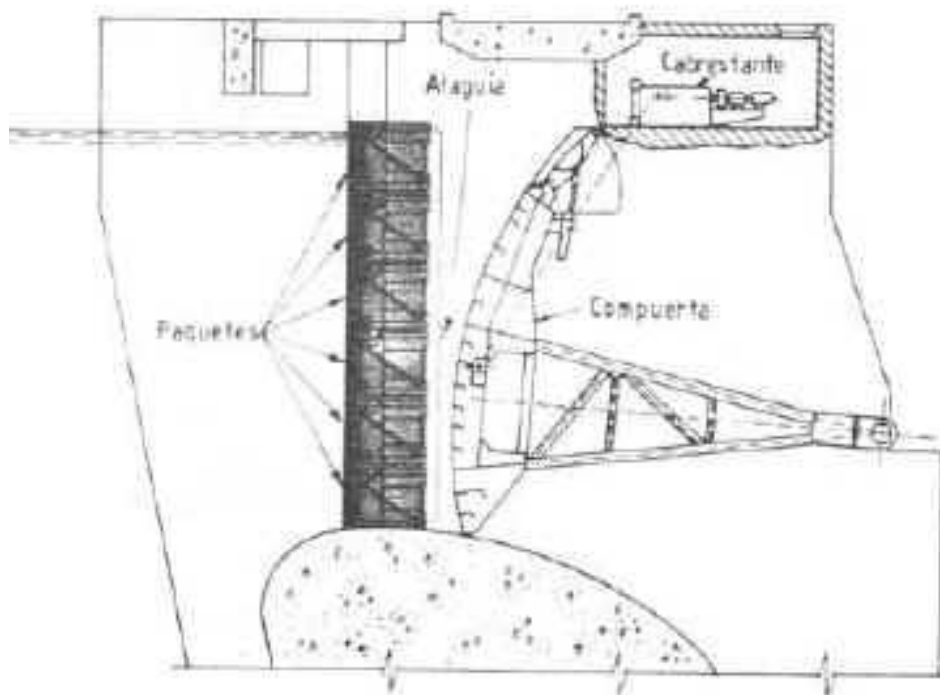
El disco de cierre tiene la forma de una lenteja, interiormente hueca aunque con refuerzos formando recuadros, estos refuerzos se unen a las paredes anterior y posterior y a un cilindro que atraviesa el disco sobre el que se aloja el eje que produce el giro al disco, y que este viene a ser de  $81^\circ$ .

La estanqueidad la efectúan una gomas que rodean al disco exteriormente, las cuales van abrochadas con tornillos de material inoxidable a dicho disco y se acoplan a un aro situado en el cuerpo de la válvula, también de material inoxidable, cuando el disco está en la posición de cerrado.

### 2.1.2.9 Ataguías.

La instalación de ataguías tiene por objeto el poder revisar o reparar cualquier órgano de cierre situado posteriormente en cualquier conducto, conservando íntegramente la retenida del embalse.

Su construcción normalmente consiste en una estructura metálica con una serie de vigas horizontales principales, que soportan todo el empuje hidráulico, y unas vigas verticales que forman recuadros sobre los que se apoya la chapa de recubrimiento. Las vigas horizontales se apoyan en los extremos sobre vigas verticales o de costado, las cuales transmiten el empuje total al paramento de la presa o en su lugar a unos cajeros practicados en la misma (fig.2.37 y fig.2.38).



**Figura 2.37** Esquema de una ataguía instalada.

Las maniobras de estas ataguías se hace generalmente equilibrando ambas caras por medio de by-pass evitando en la mayoría de los casos el poner rodillos de presión y siendo, por tanto suficiente unos largueros de madera los que soportan la carga hidráulica cuando existe desequilibrio de presiones entre las dos caras.

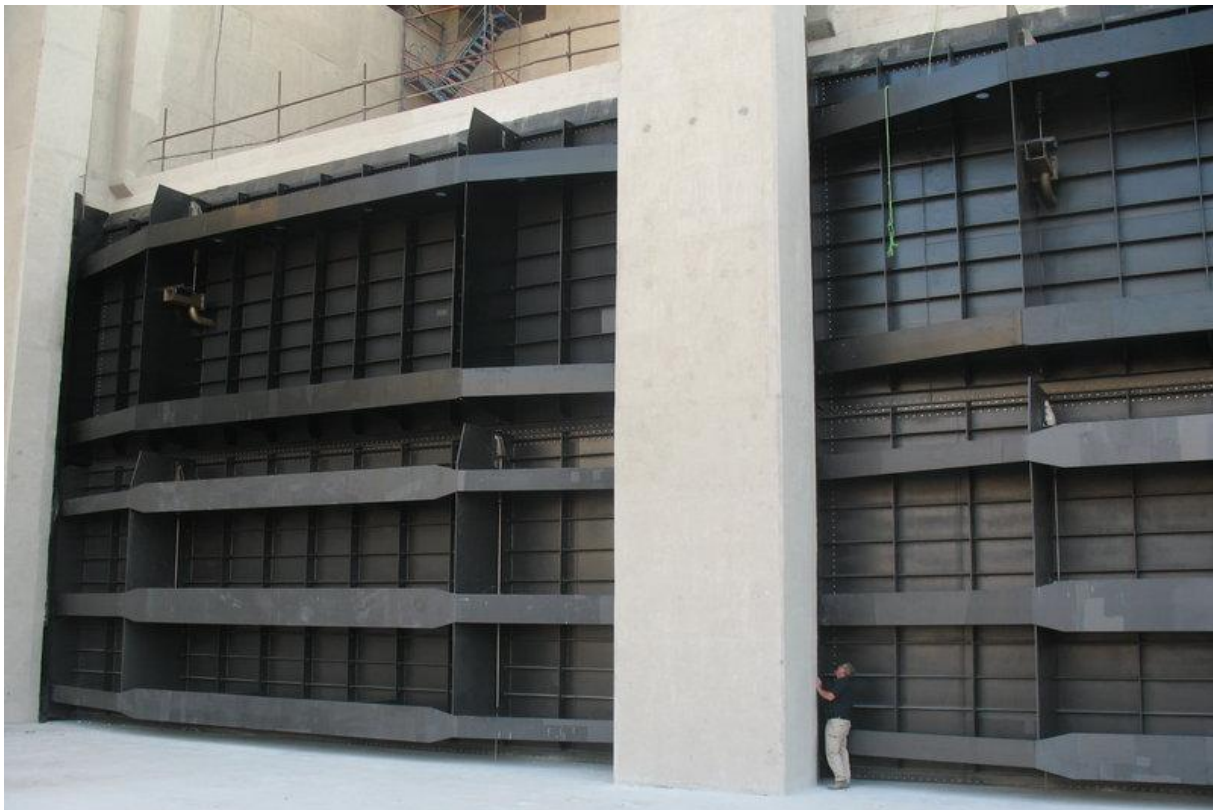
En esta clase de ataguías existe más de un tipo de construcción dependiendo cada tipo de los aparejos de elevación instalados.



Estos tipos suelen ser:

- Ataguía de una sola pieza.
- Ataguía de varios paquetes iguales o intercambiables.
- Ataguía de varios paquetes proporcionales a las cargas de agua y por tanto desiguales, siendo este caso el que resulta más complicado de colocación, en un momento determinado, debido a que cada paquete debe ocupar el lugar que le corresponda.

El número de ataguías que intervienen en una instalación depende del número de vanos a cubrir simultáneamente.



**Figura 2.38** Ataguía

#### **2.1.2.10 Compuertas de paramento.**

La diversidad de instalaciones hidráulicas, hace que existan muchos tipos de cierre, entre las cuales se encuentran las compuertas de paramento. Estas compuertas se componen de un tablero que se apoya sobre un marco empotrado en el paramento de la presa prolongándose con unas guías hasta cubrir la carrera del tablero en su apertura.

La impermeabilización consiste en unas pletinas de material inoxidable que se fijan al marco y otras al tablero con la forma que corresponda al contorno de dicho tablero, ya que

puede ser circular, cuadrado, etc. En el marco se prolongan estas pletinas lateralmente hasta cubrir la carrera del tablero.

Para conseguir una perfecta estanqueidad, el tablero y marco llevan adosados unas cuñas que hacen contacto cuando el tablero ha llegado a su posición de cerrado.

Este tipo de compuertas suelen instalarse en el origen de un conducto y desempeñan una buena función como cierre auxiliar para las instalaciones hidráulicas automáticas.

#### **2.1.2.11 Viga tenaza.**

Como elemento auxiliar de elevación de ataguías, rejas móviles, etc., se utiliza la viga tenaza que consiste en una estructura provista en su viga inferior de dos mordazas de enganche y en su parte superior de una polea o bulón sobre la que actúa el aparejo de elevación (fig.2.39)



**Figura 2.39** Viga tenaza en ataguía

En la viga inferior donde van instaladas las mordazas existe un cerrojo con un contrapeso que permite desenganchar el elemento suspendido cuando éste se ha colocado en su vano correspondiente ya que cuando ha descendido dicho elemento se enclavan las mordazas, quedando abiertas y pudiendo ascender sola.

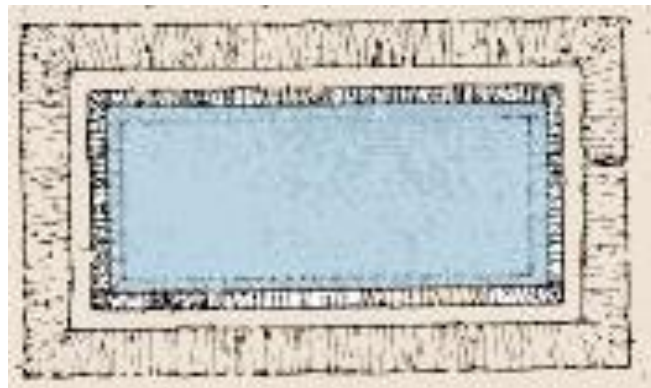
Cuando se pretende subir el elemento se cambia el contrapeso de la viga tenaza haciéndole girar, y descendiendo la viga se enganchan las mordazas en el elemento, consiguiendo la maniobra deseada.

### 2.1.3. TOMAS DE AGUA EN EMBALSE

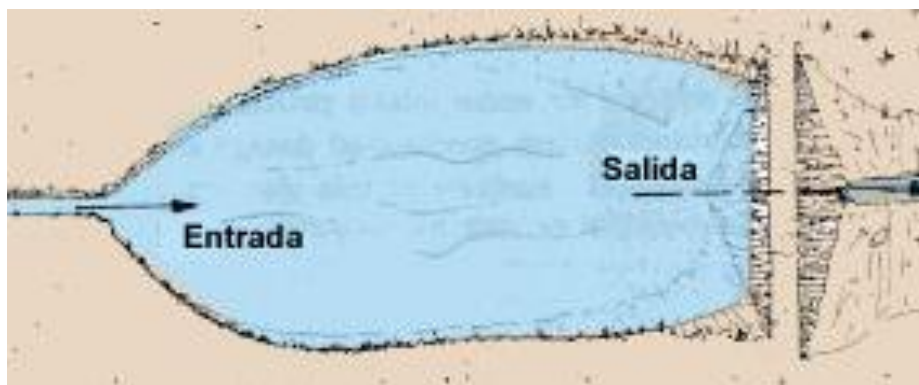
Para utilizar el agua almacenada en un embalse se emplean las tomas de agua por las que se conduce el líquido hasta el punto de su empleo ya sea para centrales hidroeléctricas, abastecimientos de agua, riegos, usos industriales o para proporcionar caudales regulados al cauce, aguas abajo del embalse.

Según la configuración del terreno, la situación del vaso y presa, y, las cotas de embalse y de utilización, las tomas se hacen en el embalse disponiendo de galerías o conductos que según las necesidades se establecen a través del cuerpo de la presa, en las laderas o, también, por el lecho del vaso; en este último caso se dispone dentro del propio embalse una torre desde la que comienza el conducto.

En las figuras 2.40 y 2.41 podemos ver dos tipos de estanques según la configuración del terreno.

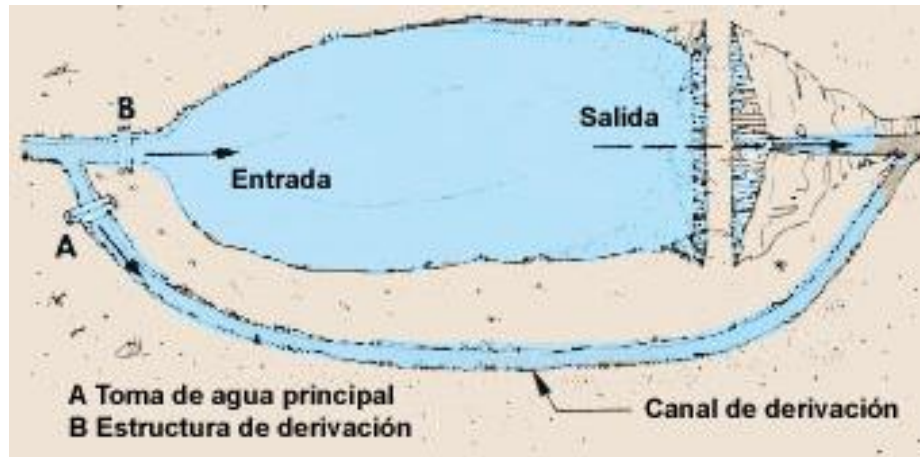


**Figura 2.40** estanque sumergido (no se necesita ninguna estructura)



**Figura 2.41** estanque de presa sin canal de derivación (no se necesita ninguna estructura)

Cuando la toma de agua se realiza en una presa de derivación el agua que se toma superficialmente, generalmente por una ladera y por medio de un canal (fig.2.42)



**Figura 2.42** estanque de presa con canal de derivación

En las tomas de agua es conveniente disponer en primer lugar una reja fija o móvil en la cabecera que impida el paso de cuerpos arrastrados por la corriente, cuyas dimensiones pudieran entorpecer el funcionamiento de los elementos de regulación o el de las turbinas (fig.2.43).



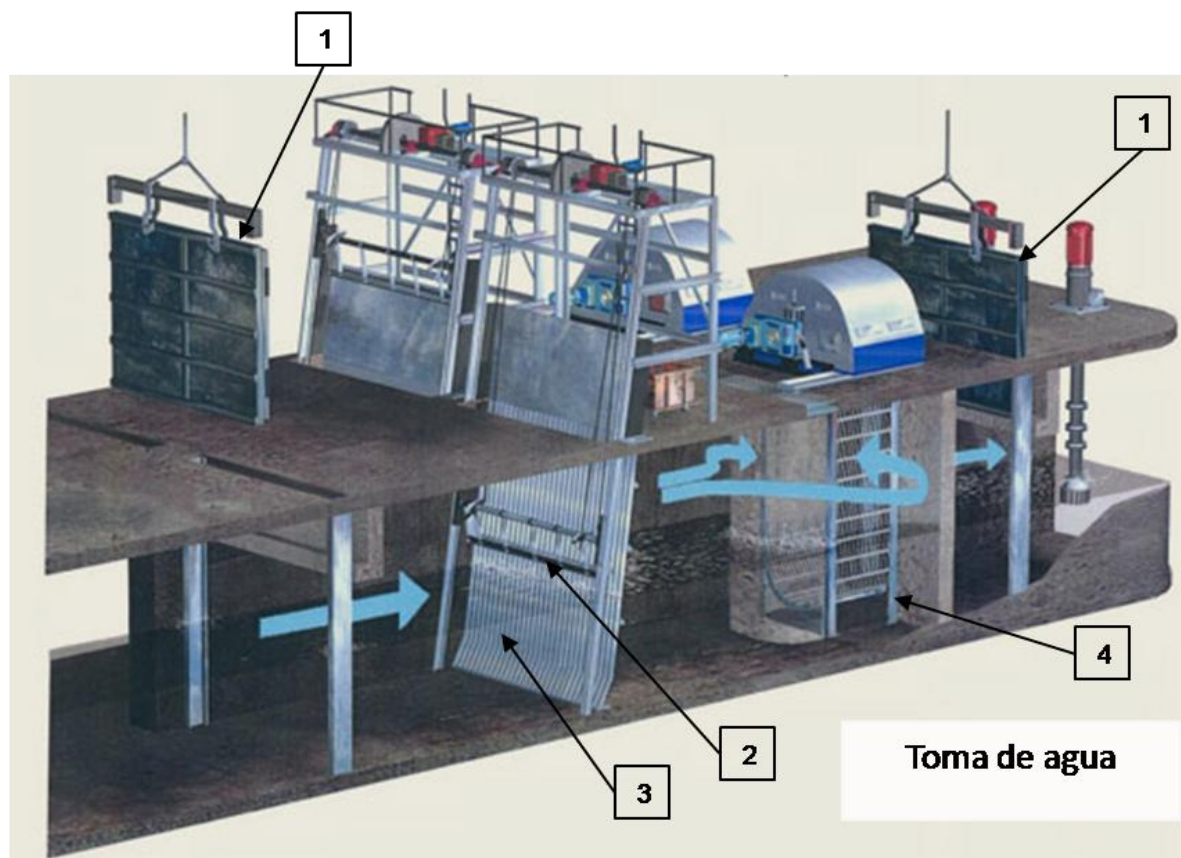
**Figura 2.43** Rejas en una toma de agua

En muchos casos se disponen a continuación de las rejillas ataguías o cierres eventuales que permitan dejar un conducto fuera de servicio para su reparación o conservación. Siguen a



continuación los cierres del conducto siendo siempre aconsejable la utilización de doble cierre, el primero de seguridad y el segundo de maniobra o regulación.

En la siguiente figura podemos ver el esquema típico de una toma de agua.



**Figura 2.44** Esquema de toma de agua.

- 1 Compuertas ataguías      2 Limpiarregas      3 Rejas      4 Rejilla móvil – filtro de banda continua

En cuanto a revestimientos metálicos de los conductos debe repetirse y aún con mayor razón, dado el funcionamiento permanente de las tomas, lo que se indicó para los desagües profundos. Por ello es conveniente disponer revestimientos metálicos o tuberías en todas aquellas zonas en que la velocidad del agua pueda ser elevada y, en todo caso, los cierres deben quedar unidos a una zona metálica considerable que garantice el que nunca puedan desprenderse de la obra civil por la erosión.

Cuando la salida de la toma se hace libre sobre un lecho, colchón o canal hay que determinar con el mayor cuidado las dimensiones del mismo para que la anulación de la energía se pueda conseguir sin producir deterioros. Pueden en este caso utilizarse dispositivos especiales de anulación de energía entre las cuales existen diferentes tipos de estructuras de energía que se disponen en las salidas de los conductos.

Las tomas de agua se descargan libremente en su salida caudales regulados, son de longitudes relativamente cortas, y, sueltan chorros con gran energía, son realmente las que hemos descrito como desagües profundos anteriormente y allí puede verse su disposición.

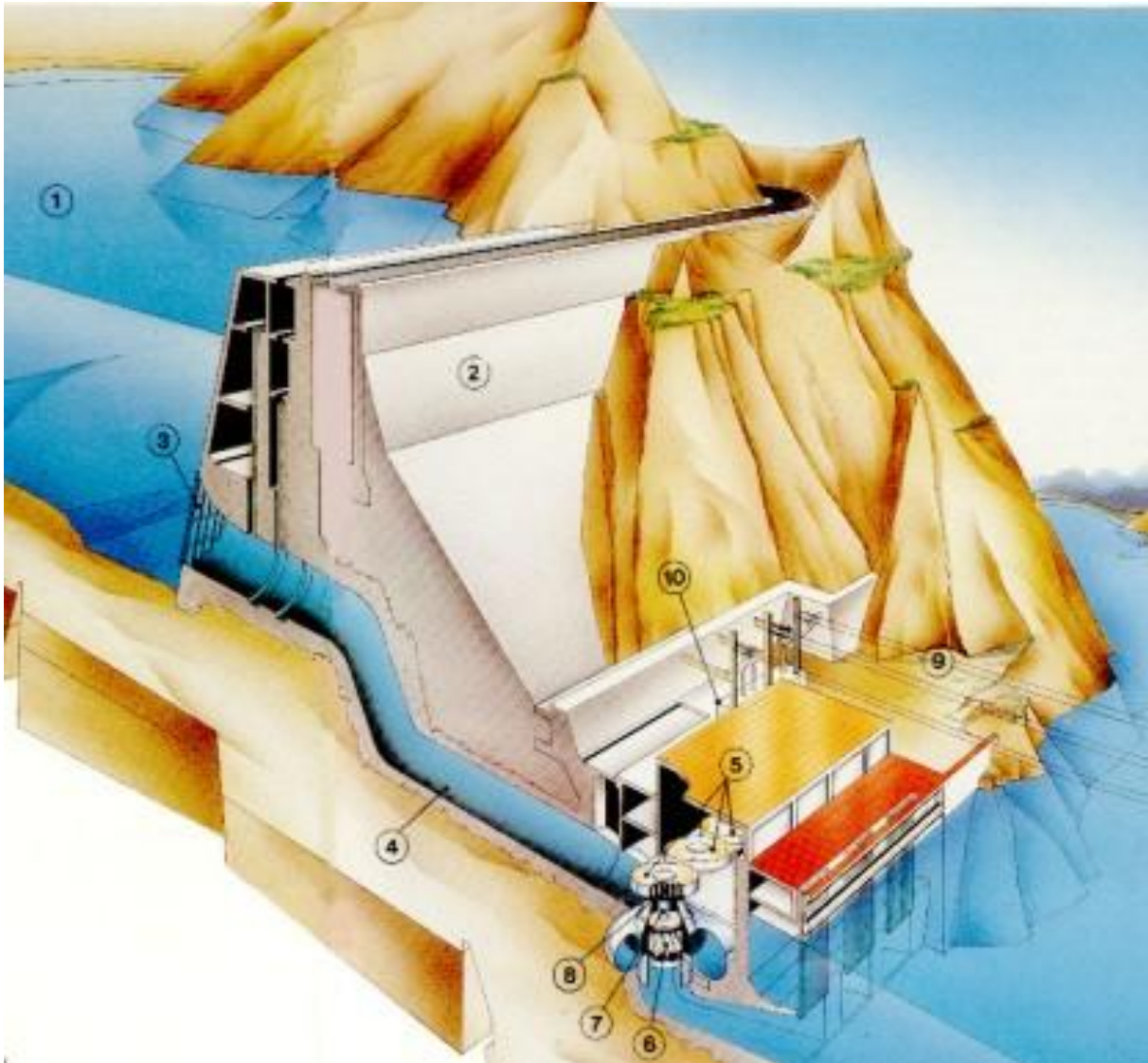
Cuando las tomas alimentan una central hidráulica o hidroeléctrica donde la energía debe ser transformada en energía mecánica y ésta en eléctrica, sus dimensiones se determinan de forma que las velocidades sean moderadas y las pérdidas en la conducción sean muy reducidas. Para ello los revestimientos de dichos conductos deben estudiarse cuidadosamente en cuanto a su resistencia y rugosidad, o bien, disponer tuberías o revestimientos metálico que deben ser también estudiados con el mayor esmero, sin olvidar las presiones exteriores a que puedan quedar cometidos. Cuando existen cambios de sección y pendiente que lo aconsejen, se dispondrán chimeneas de equilibrio para amortiguar los efectos del golpe de ariete.

En una toma de agua para central hidroeléctrica (fig.2.45), es conveniente disponer también primeramente una reja, a continuación un cierre de seguridad y por último, antes de las turbinas los correspondientes cierres de maniobra. Como complemento, es conveniente también, en muchas ocasiones, colocar una ataguía anterior al primer cierre y, en la mayor parte de los casos, ataguías en las salidas de los conductos de aspiración de las turbinas.

En algunos casos especiales, sobre todo en conductos de poca longitud y disposición adecuada, se suprime a veces bien, el cierre anterior de seguridad o cierre de maniobra de las turbinas, pero en ambos casos, es necesario proyectar el único cierre con elementos de seguridad convenientes para que no pueda producirse un accidente grave.

Es muy aconsejable en el caso de tomas para centrales hidroeléctricas, el que el cierre de seguridad pueda maniobrarse desde la central y aún mejor, que tenga un dispositivo automático de cierre que provoque éste por aumento de velocidad en la conducción, aun en el caso de fallo de la corriente eléctrica, y también, cuando se desee, por disparo desde la central. Cuando se suprime el cierre de maniobra, el primer cierre debe actuar automáticamente, lo mismo que es habitual en el cierre de maniobra, mandado por los dispositivos de seguridad de turbina y alternador.





1. Agua embalsada, 2. Presa, 3. Rejillas filtradoras, 4. Tubería forzada, 5. Conjunto turbina-alternador, 6. Turbina, 7. Eje, 8. Generador, 9. Líneas de transporte de energía eléctrica, 10. Transformadores

**Figura 2.45** toma de agua para central hidroeléctrica

#### 2.1.4. Cierres de seguridad.

Los tipos de cierre que se emplean normalmente en las tomas de agua son:

- Compuerta Vagón
- Compuerta de oruga.
- Compuerta deslizante (pequeñas dimensiones).
- Compuerta de paramento deslizante (pequeñas dimensiones).
- Válvula compuerta doble cierre en cuña (para dimensiones limitadas)

En algunos casos también:

- Compuerta deslizante de tipo americano.
- Compuerta de aro de tipo americano.
- Válvula de compuerta tipo embalse de cierre sencillo deslizante (dimensiones limitadas).
- Válvula de mariposa.
- Compuerta segmento Taintor.
- Compuertas cilíndricas (para torres de toma).

### **2.1.5. Cierres de maniobra.**

#### **Para centrales hidroeléctricas (anteriores a las turbinas)**

- Válvula de mariposa.
- Válvula esférica.
- Válvula de compuerta (para pequeños diámetros).
- Válvula de aguja (para pequeños diámetros).

#### **Para desagües no reguladores o alimentación de tuberías.**

- Válvula de compuerta.
- Válvula de mariposa.
- Compuerta de aro de tipo americano.
- Válvula esférica.

Más raramente otros tipos de cierre de los citados anteriormente.

#### **Para desagües reguladores.**

- Válvulas de paso anular.
- Válvulas de manguito (Howel-Bunger).
- Válvulas de chorro hueco.
- Compuerta de segmento Taintor.
- Válvula de mariposa.

Como elementos complementarios de las tomas pueden citarse: rejas y limpiarejas, instalaciones by-pass, instalaciones de aducción de aire, ataguías de entrada y de salida, instalaciones de bombeo de aceite (para las maniobras con presión de aceite) instalación eléctrica, instalación de alumbrado, telemandos, teleindicadores, etc.

En cuanto al empleo de los diferentes tipos de cierre deben hacerse observaciones análogas a las que se expusieron anteriormente para los desagües de fondo y desagües profundos.

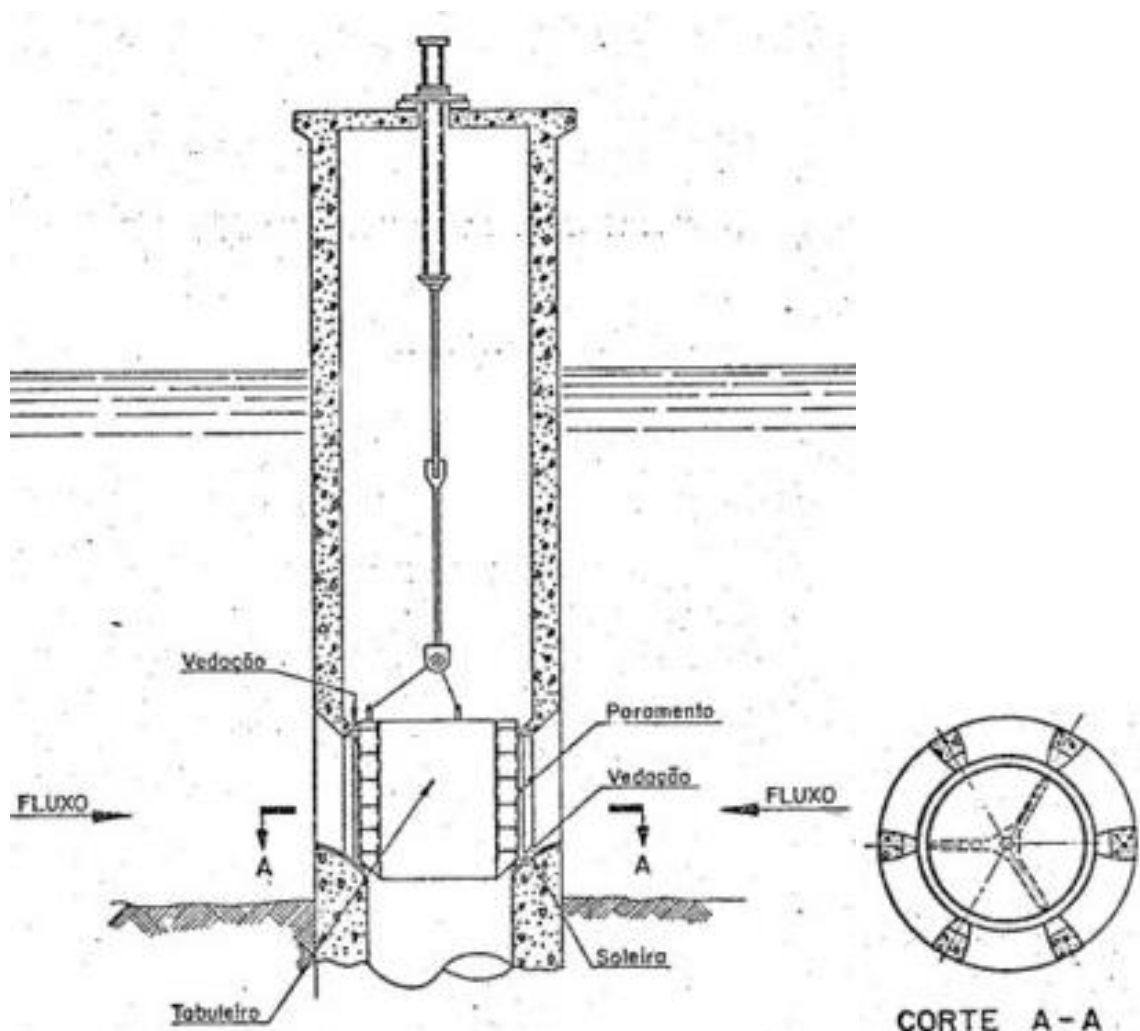
A continuación se describen y se comentan los diferentes elementos de las tomas de agua.

a) *Cierres de seguridad.*

En la primera parte dedicada a los desagües de fondo y desagües profundos se han descrito ya la mayor parte de los elementos de cierre de seguridad empleados en las tomas que figuran anteriormente enumerados. A continuación describimos aquellos que no figuran entre los detallados anteriormente.

• Compuertas cilíndricas.

Estas compuertas son muy poco empleadas como cierres de un conducto ya que su aplicación adecuada está reducida, casi exclusivamente, al caso de torres de toma de forma adecuada para su instalación. Por el contrario se emplean mucho como cierres auxiliares de maniobra de compuertas automáticas de aliviaderos o presas móviles flotantes, así como desagües de cámaras o pozos (fig.2.46).



**Figura 2.46** Compuerta cilíndrica

Su elemento de cierre está constituido por una superficie cilíndrica de eje vertical que cierra sobre asiento de corona circular y que deja paso al agua desplazándose en la dirección

del eje hacia arriba o hacia abajo según el tipo de cierre. Cabe distinguir aún dos clases de compuertas cilíndricas, a saber: Aquellas en que la superficie cilíndrica que constituye el órgano de cierre quede en su posición más baja con su borde superior por encima del nivel máximo del embalse, y aquellas otras en que el paso del agua puede tener lugar por encima de su borde superior.

Se detallan seguidamente los elementos que constituyen la compuerta cilíndrica.

#### 1. Obturador.

El obturador está formado por un tubo construido generalmente de chapa laminada, al que en compuertas de grandes dimensiones se dota de refuerzos soldados. Debe deslizarse entre guías para asegurar su movimiento vertical según el eje de la superficie cilíndrica y en muchos casos va provisto de rodillos de guía.

En aquella o aquellas partes en que debe verificarse el cierre lleva anillos de asiento e impermeabilización de material inoxidable o caucho sintético.

El obturador lleva soportes convenientes para su unión a los elementos de maniobra.

#### 2. Guías y asientos.

Completan el cierre los aros de asiento provistos de guarniciones de apoyo y cierre de material inoxidable y las guías verticales o carriles sobre las que desliza el obturador.

Los anillos y guías suelen ser de acero laminado o fundido, y en ningún caso de hierro fundido.

#### 3. Mecanismo de accionamiento.

La maniobra se hace comúnmente con un vástago o varios combinados cuyo extremo superior termina en husillo roscado.

En algunos casos se emplean otros tipos de mecanismos como cadenas, criks de aceite o cremalleras, y hasta en ciertas ocasiones para válvulas auxiliares se actúan por cables especiales.

### 2.1.6. Tomas de agua en canal.

En una presa de derivación, o, en un embalse de pequeña capacidad construido en un río de aportaciones regulares proyectado de forma que se mantenga la cota máxima sensiblemente en todo periodo de explotación, la toma se hace en la parte superior por medio de un canal. Este canal sigue generalmente por una ladera del terreno conservando una pendiente adecuada para el transporte hasta llegar al punto de aprovechamiento o a una cámara de carga de donde parte la tubería o tuberías forzadas.

Como podemos ver en la figura 2.47, en la entrada del canal se disponen compuertas u obturadores y, generalmente, ataguías y rejas antes de los cierres.



Cuando hay cámara de carga de la que parten los conductos forzados se emplean normalmente rejas y ataguías anteriores a éstos, y a continuación compuertas o válvulas de cierre.



**Figura 2.47** Toma de agua en canal con rejas.

Los cierres empleados en la roma del canal son, normalmente:

- Compuertas deslizantes.
- Compuertas Vagon.
- Compuertas Taintor.

Y en casos especiales:

- Compuertas de paramento.
- Compuertas de clapeta.

En cámaras de carga se utilizan generalmente:

- Compuertas deslizantes.
- Compuertas vagón.
- Compuertas de paramento.
- Válvula de mariposa.

A continuación se describen los diferentes tipos de cierres empleados:

a) *Compuertas deslizantes.*

Estas compuertas (fig.2.48) se emplean para dimensiones reducidas y sus elementos son análogos a los detallados en las de este tipo, que figuran en la parte de desagüe de fondo, con la salvedad de que por soportar menores cargas los tableros y guías son más sencillos y los elementos de impermeabilización están constituidos casi exclusivamente por pletinas de latón o bronce, o aun en muchas ocasiones por listones de madera.



**Figura 2.48** Compuerta deslizante.

Se construyen para funcionar sumergidas o bien con el borde superior del tablero por encima del nivel máximo de agua.

Los mecanismos que se emplean son de tipo exclusivamente mecánico y los más usuales son los de tipo husillos o cremallera, que en muchos casos son dobles, o sea que el tablero se suspende por dos puntos.

b) *Compuertas vagón.*

Son análogas a las descritas en los cierres para desagües de fondo y tomas con análogas observaciones a las que figuran en las compuertas deslizantes.



c) *Compuertas Taintor.*

Análogas a las descritas anteriormente.

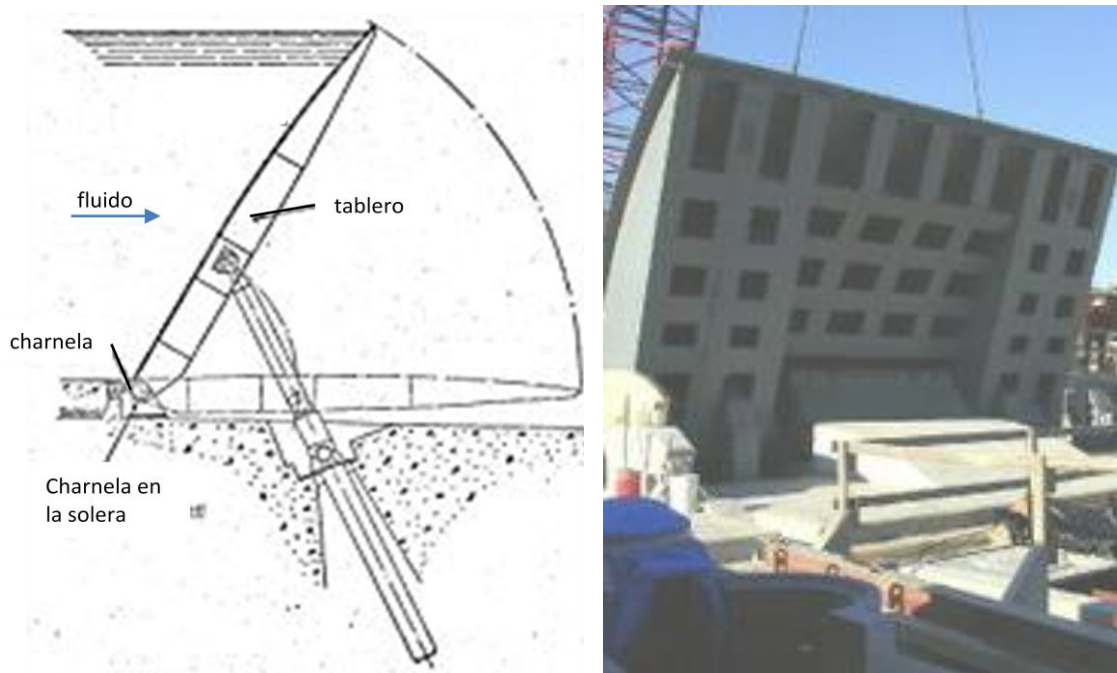
d) *Compuertas de paramento.*

Anteriormente descritas.

e) *Compuertas de clapeta.*

Estas compuertas son más utilizadas en aliviaderos construyéndolas bien con accionamiento mecánico o bien automáticas hidráulicamente. En la parte correspondiente a aliviaderos se describen con detalle.

Constan de un tablero metálico con charnela en la parte de solera y van suspendidas por la parte superior por dos tirantes sobre los que acciona el mecanismo mecánico o hidráulico de maniobra. Los tableros giran por la charnela para dejar pasar el agua vertiendo por encima del borde superior (fig.2.49)



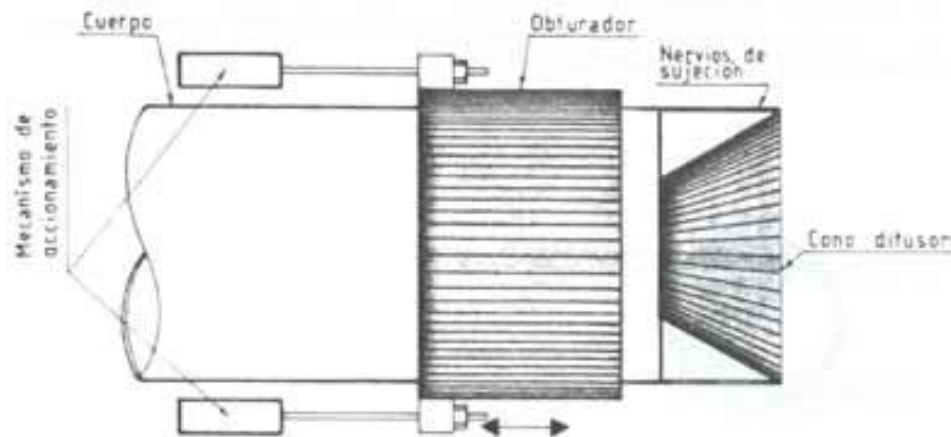
**Figura 2.49** Compuerta de clapeta.

### 2.1.7. Órganos de maniobra y regulación.

1. *Válvula de chorro hueco.*

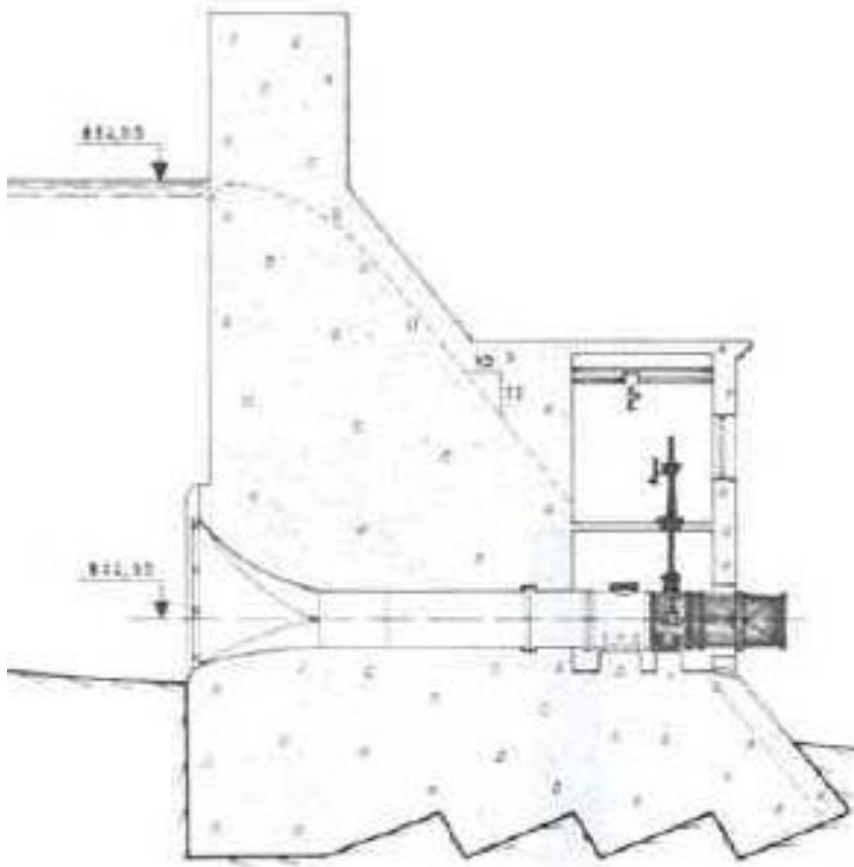
Esta válvula es en esencia una válvula de aguja con el émbolo de cierre dirigido contra la corriente. En esta forma el bulbo soporte anterior es pequeño, quedando reducido a una tapa y a l cilindro de guía del émbolo.

El cuerpo exterior es análogo al de una válvula de paso anular al que se le hubiera suprimido la parte de contracción del chorro, o sea que éste sale libre desde su diámetro máximo y la carcasa tiene la forma acampanada. Podemos ver un esquema en la (fig.2.50)



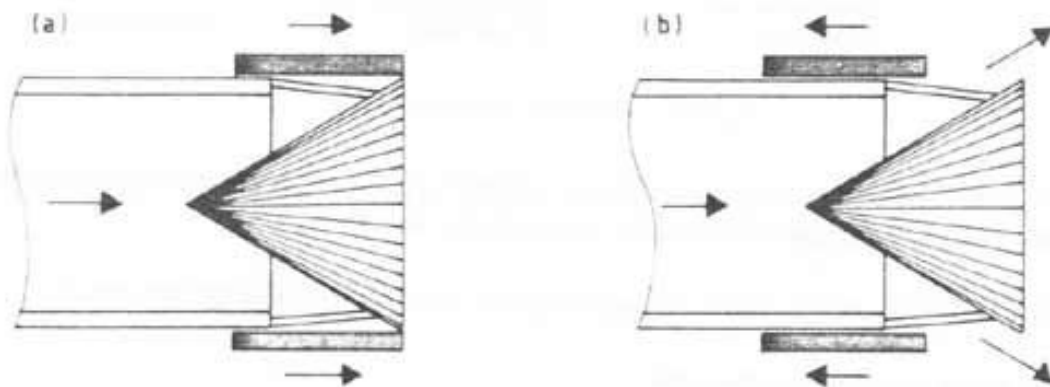
**Figura 2.50** *Válvula de chorro hueco.*

La válvula de chorro hueco cilíndrica, está hoy prácticamente en desuso. Se emplea este tipo de válvulas exclusivamente para descargas libres al exterior situándola en el extremo de salida de una tubería como podemos ver en la figura 2.51,



**Figura 2.51** *Válvula de chorro hueco en un desagüe de fondo*

El caudal de descarga se puede regular en toda la carrera de apertura de la válvula (fig.2.52) y el diámetro exterior del chorro de salida no varía cualquiera que sea la apertura de la válvula. El chorro sale de la válvula con pequeña dispersión para cualquier apertura.



**Figura 2.52** *Posiciones del obturador en una válvula de chorro hueco*  
a – Cierre b – apertura o regulación

El efecto que produce la forma hueca del chorro es el de distribuir la energía de salida en una zona relativamente grande del colchón y, en esta forma, se reduce el efecto destructivo del mismo, aunque exige aumentar el tamaño de dicho colchón.

Esta válvula se puede montar inclinada, como se hace también con las válvulas de paso anular o de chorro cónico, y dándole un ángulo de salida de 20 a 30 grados se disminuyen las perturbaciones que en el colchón se producen en la descarga.

El cuerpo exterior de la válvula puede construirse según la carga en hierro fundido o en acero moldeado y el obturador en la misma forma pero con revestimientos inoxidables en el borde correspondiente al cierre y superficies deslizantes. En el borde de cierre es preciso una guarnición inoxidable y resistente pues hay riesgo de fuertes cavitaciones.

Hoy día, como se indica, este tipo de válvula está totalmente abandonado y se prefiere el empleo de una válvula de aguja de paso anular dotada de dispersor de energía o una válvula de anillo mucho más barata y eficaz que dispersa el chorro en forma cónica.

## 2. *Válvula de Larner Johnson.*

- Principios generales.

La válvula de Larner Johnson (fig.2.53) fue introducida comercialmente en 1910 para uso en instalaciones de regulación. La forma especial de la válvula posee ventajas señaladas en el centro de la corriente líquida y su facilidad de maniobra, a través de los distintos tipos de mecanismos que le pueden ser aplicado con toda sencillez. Una vez equilibrada, requiere muy poca potencia para su accionamiento, lo que hace que esta válvula sea de suma utilidad aún para tamaños, cargas y velocidades de circulación del agua muy grandes.



**Figura 2.53** *Válvula de Larner Johnson*





**Figura 2.54** *Distintas partes de una válvula de Larner Johnson*

El conjunto de la válvula presenta partes muy diferenciadas entre sí que podemos ver en la figura 2.54 y que se pueden enumerar como siguen:

a) Una carcasa exterior de sección circular que rodea, a modo de envolvente un cilindro interior rígidamente unido a esta carcasa mediante nervios. Este cilindro interior está cerrado por un casquete aproximadamente cónico en la parte de aguas arriba. La carcasa exterior (que comprende dos o más piezas) termina en una boca de salida de diámetro menos a través de una reducción de un perfil adecuado para conseguir un funcionamiento hidráulico correcto.

b) Un cuerpo móvil interior de forma cilíndrica, que aguas abajo en una superficie sensiblemente cónica en cuya base se fija un anillo de bronce de material inoxidable a modo de guarnición, que produce el cierre al adaptarse a un anillo semejante fijo próximo a la boca de salida del cuerpo o carcasa exterior. El agua circula dentro de la válvula en forma anular entre las paredes exteriores e interiores de la carcasa descrita. Este anillo de paso del agua tiene sus secciones transversales sucesivas de forma que los cambios de velocidad necesarios del agua dentro de la válvula, se producen de una forma gradual, y su distribución dentro de la válvula responde a la naturaleza del servicio que ésta debe prestar.

c) Un punzón piloto que, deslizándose longitudinalmente dentro del cuerpo móvil, obtura o abre el orificio que este cuerpo posee en el vértice del mismo en su zona posterior. Este punzón piloto, que es el órgano de gobierno de la válvula propiamente dicho, es accionado desde el exterior a través de un enlace mecánico de cualquier tipo situado en el interior de la válvula (por ejemplo, piñón-cremallera o husillo, tuerca o par cónico).

El funcionamiento se comprende fácilmente sin más que observar el plano constructivo de la válvula.

Supuesta cerrada la válvula, basta que el punzón piloto se desplace hacia atrás para que, al descargarse la presión del agua del interior del cuerpo móvil, éste se mueva

persiguiendo al punzón piloto debido al empuje de la presión del agua en su zona exterior anterior, y de tal manera que no dejara de moverse mientras no se restablezca el equilibrio de presiones entre ambas partes del cuerpo.

Si se procediera al revés, es decir, estando la válvula abierta, desplazáramos el punzón piloto en el sentido hacia adelante, cerrando el orificio de aguas abajo en el cuerpo móvil, éste tiendo a despegarse del punzón al aumentar la presión interior en dicho cuerpo.

Por consiguiente, el cuerpo móvil sigue en todo momento el movimiento del punzón piloto, constituyendo la válvula un verdadero dispositivo servomotor del tipo denominado de primer género.

Cuando la válvula está sin agua, el cuerpo móvil deberá ser arrastrado mecánicamente por el punzón piloto a fin de poderla maniobrar en vacío. Por consiguiente, en estas condiciones es cuando se exigirá la máxima potencia del mecanismo de accionamiento, que por consiguiente es independiente de la carga de agua que exista en el embalse.

- Materiales empleados en la construcción de la válvula.

Para los cuerpos exteriores se emplea comúnmente el hierro fundido, acero moldeado y en algunos casos en que el tamaño lo requiere, se construyen de chapa, sobre aquellas partes que no tienen formas no desarrollables.

El cuerpo móvil se prefiere de hierro fundido, debido a su mayor resistencia a la oxidación.

La superficie de deslizamiento de este cuerpo se recubre de una capa o camisa de material inoxidable, generalmente bronce o latón, bien por encamisado en caliente o bien por proyección. Este revestimiento puede, en ocasiones, alcanzar la parte cónica del cuerpo especialmente si la válvula va a permanecer durante largo tiempo con pequeñas aperturas.

El mecanismo exterior puede ser de cualquier tipo, prefiriéndose el de reducciones por engranajes al hidráulico por la exactitud con que aquél puede mantener largo tiempo posiciones fijas intermedias.

Las válvulas poseen sus tuberías de drenaje, carga y descarga para poder proceder a su limpieza y a la regulación de su funcionamiento.

### 3. *Válvula de chorro disperso, manguito o Howell.Bunger.*

Estas válvulas presentan la ventaja de una descarga suave en todas sus posiciones ya que el chorro que se obtiene viene muy difundido por la particularidad de la forma de la válvula, perdiendo rápidamente su energía (fig.2.55).

Su accionamiento también es muy sencillo, necesitándose una potencia muy pequeña para la maniobra al funcionar la válvula sensiblemente equilibrada.

El principio de su funcionamiento se comprende fácilmente al observar la constitución de la válvula.

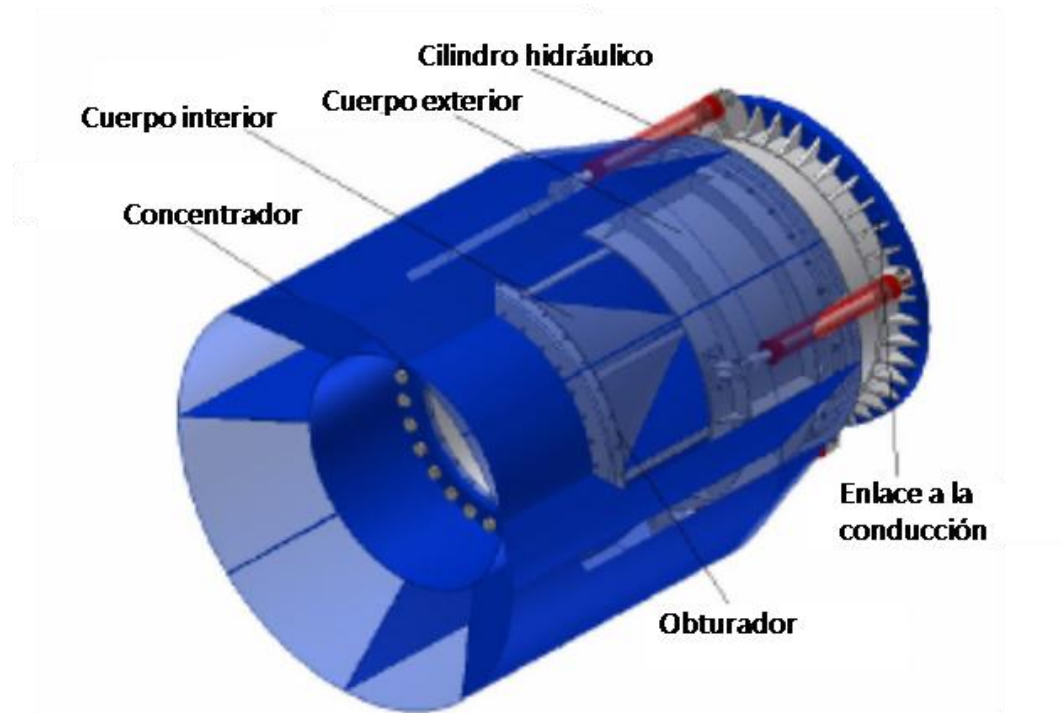




**Figura 2.55** *Válvula de Howell-Bunger*

Como vemos en el esquema de la figura 2.56, consta de un cuerpo fijo interior, cilíndrico, que posee en la parte de aguas abajo un dispersor cónico que obliga al agua a efectuar su salida difundiéndose en el sentido radial, siguiendo el semiángulo cónico del dispersor.

Sobre este cuerpo fijo desliza un segundo cilindro móvil que produce el cierre de la válvula al quedar totalmente desplazado contra la brida final de la válvula coincidente con la base del cono. Este cilindro se desplaza por medio de dos husillos diametralmente opuestos, los cuales reciben el movimiento de un eje a través de engranajes que es accionado por el mecanismo exterior de la válvula.



**Figura 2.56** Esquema de una válvula de Howell.Bunger

La superficie de deslizamiento de los cuerpos van revestidas de material inoxidable (bronce o acero inoxidable) para permitir su fácil movimiento.

La válvula, que generalmente se monta en voladizo es aplicable únicamente a desagües que funcionan a chorro libre sin tubería posterior, y necesita un cierto espacio abierto para que el agua que descarga en forma de lluvia dispersa pueda ser recogida en su totalidad.

La válvula generalmente se construye en acero laminado soldado y se encamisa con chapas de material inoxidable.

La inspección de los planos que se incluyen en el presente catálogo, muestra claramente la utilización y funcionamiento de este tipo de válvulas que hoy en día se usan cada vez con mayor frecuencia debido a la sencillez de su concepción y a la ventaja de no necesitar dispositivo alguno para destrucción de energía.

### 2.1.8. Aliviaderos móviles

El aliviadero es el elemento de la presa destinado a dar paso a las avenidas que por capacidad del embalse no es posible almacenar. Puede ser de labio fijo lo bastante extenso para que con una pequeña elevación del nivel máximo puedan desaguar, o bien móviles constituidos por vertederos con pantallas que pueden abrirse más o menos para dejar pasar las avenidas.

Los aliviaderos móviles pueden maniobrase con mecanismos automáticos o bien con mecanismos que se accionan según se desee establecer el desagüe. Los aliviaderos móviles se maniobran también para desaguar la parte superior del embalse cuando las necesidades de la explotación lo aconsejen, bien para efectuar un vaciado total o parcial de dicho embalse para el que se utilizarán aparte del aliviadero, los otros desagües o para preparar un resguardo previo cuando son de temer próximas grandes avenidas.



**Figura 2.57** Aliviadero en presa

En este capítulo no trataremos de los aliviaderos de labio fijo que corresponden a la obra civil de un embalse, limitándonos a los aliviaderos de tipo móvil.

Un aliviadero móvil puede ser de superficie, o bien de tipo profundo en el que el borde superior del hueco de vertido está por debajo de la cota máxima del embalse.

Las dimensiones del aliviadero se determinan de acuerdo con el caudal máximo a desaguar y con la altura de los elementos móviles fijada según con las condiciones de la instalación.

Una primera recomendación es subdividir el aliviadero en diferentes vanos independientes para que el peligro de una avería en algún elemento móvil no pueda causar una verdadera catástrofe al dejar totalmente inutilizado un órgano tan importante de desagüe. Parece, pues, aconsejable dividir el vano necesario de desagüe al menos en tres o más vanos parciales, con lo cual el riesgo se disminuye totalmente.





**Figura 2.58** *Varios aliviaderos en presa*

Será, en segundo lugar, aconsejable cuando se desea que el aliviadero funcione automáticamente dotándolo para ello de mecanismos convenientes, el no disponer en todos los vanos de maniobra automática hidráulica exclusivamente, sino que al menos en la mitad de los vanos se disponga de otro tipo de accionamiento en el que pueda actuarse cuando así se desee sobre los obturadores, evitando así en grave riesgo que pueda concurrir en casos de averías del mecanismo hidráulico.

En caso de accionamiento por mecanismos movidos por energía eléctrica será conveniente contar al menos con un suministro seguro dotando la instalación de dos fuentes de alimentación independientes, empleando para ello si fuera necesario, un grupo electrógeno auxiliar.

Una vez tenidas en cuenta las anteriores observaciones, el aliviadero estará constituido por varios vanos que para mantener el embalse estarán obturados por pantallas móviles de diferentes tipos o compuertas.

Las compuertas que se emplean en los embalses son casi exclusivamente de los tipos siguientes:

- Compuerta de segmento o Taintor.
- Compuerta Vagón.
- Compuerta Stoney.
- Compuerta de clapeta.
- Compuerta de sector eje de giro agua abajo.
- Compuerta de sector tipo americano con eje de giro aguas arriba.

En algún caso especial, aunque su empleo suele ser más normal en presas de derivación:

- Compuerta de alza de tejado.
- Compuerta de tambor.

En muy raras ocasiones se han empleado compuertas giratorias y de otros tipos.

Es corriente disponer anteriormente a los cierres, ataguías móviles que permitan la separación y entretenimiento de las compuertas sin perturbar la explotación del embalse.

Se hace a continuación una descripción de los tipos de compuertas citados.

a) *Compuerta de segmento o Taintor.*

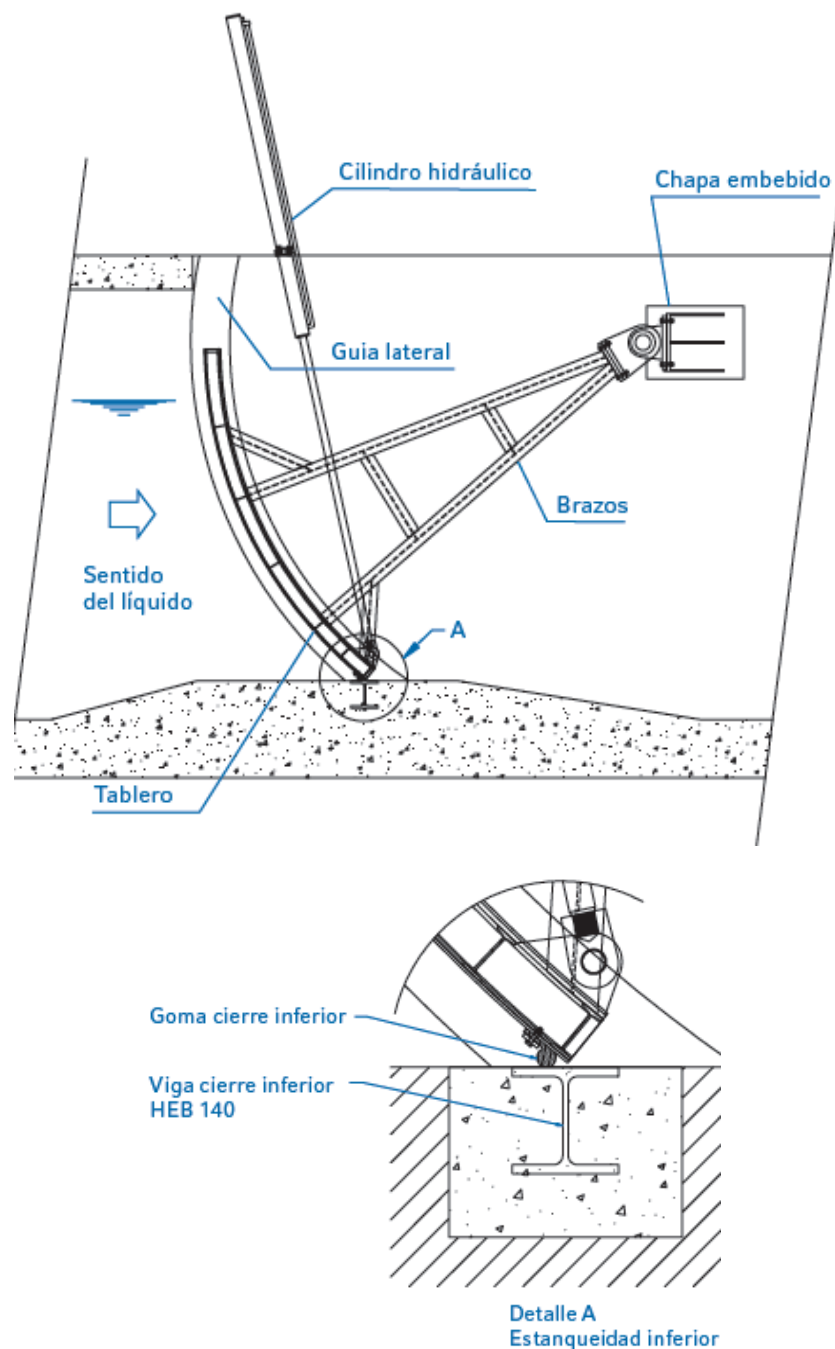
Entre la variedad de tipos de compuertas, se encuentran las denominadas de segmentos, cuya forma corresponde a una parte de cilindro y en cuyo eje teórico se sitúan los elementos de giro sobre los cuales bascula la compuerta en sus movimientos ascendentes o descendentes.

En la figura 2.59 podemos ver el esquema de una compuerta Taintor.

El tablero consta esencialmente de dos vigas principales, de forma porticada, y las cuales, convergentes, van a incidir en los elementos de giro, siendo por tanto estas vigas las que soportan toda la presión hidráulica. Las vigas principales están constituidas generalmente en celosía, pudiendo estar formadas también en alma llena.

El resto del tablero lo componen cuadernas verticales principales con sus correspondientes arriostramientos o puntales que se apoyan en la parte posterior de la viga principal; y cuadernas verticales y horizontales secundarias que forman recuadros, y sobre los que se apoya la chapa de recubrimiento.

En los laterales la compuerta va provista de dos vigas de costado, las cuales, además de soportar la carga hidráulica correspondiente, soportan el esfuerzo de elevación que le transmite los enganches adosados a dichas vigas.



**Figura 2.59** Esquema compuerta de segmento o Taintor

Las impermeabilizaciones constan de perfiles de goma en forma de ángulo para los laterales y una llanta también de goma para la parte inferior de la compuerta; ambos cierres llevan sus correspondientes pletinas que abrochadas con tornillos al tablero proporcionan una buena estanqueidad entre gomas y compuerta como podemos ver en la figura 2.60. El cierre entre gomas y obra civil, lo proporcionan unas deslizaderas metálicas empotradas en las pilas, sobre las que desliza la compuerta, y una solera también empotrada en el umbral que además permite el apoyo de la compuerta por medio de un larguero de madera instalado en el tablero.





**Figura 2.60** *Compuertas Taintor*

En cada viga lateral o de costado, la compuerta lleva dos rodillos con sus soportes, que tienen como función principal evitar que la compuerta se acodale como consecuencia de alguna deficiencia en el sincronismo de los tiros del mecanismo de elevación.

Los elementos de giro reciben los esfuerzos de la compuerta a través de los brazos del tablero y soportan las componentes radiales y axiales logrando una perfecta función en el giro de la compuerta (fig.2.61).



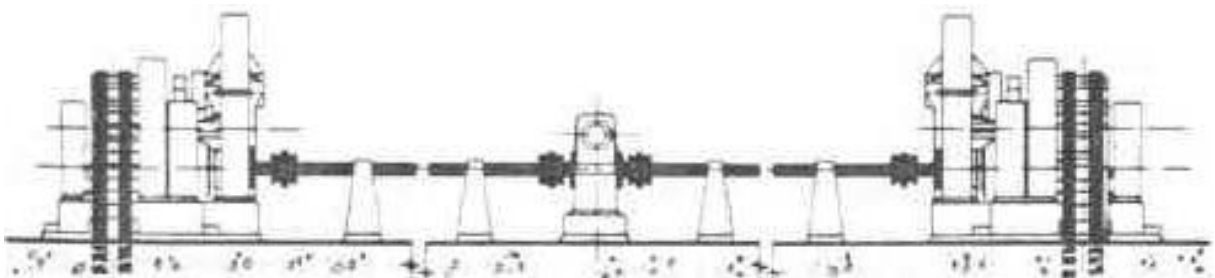
**Figura 2.61** *Cilindro hidráulico encargado del accionamiento*

Y por último, las vigas de apoyo que soportan todo el empuje de la compuerta, a través de los ejes de giro, van empotradas en las pilas, que convenientemente recibidas absorben todos los esfuerzos, y los transmiten a las armaduras de pila y, a través de éstas, a la propia pila.

El mecanismo de accionamiento de este tipo de compuertas suele ser de cabestrante de cadenas tipo <<Galle>>, aunque puede emplearse el servomotor de aceite, si bien éste es poco frecuente por cuanto implica alguna variación en la estructura de la compuerta, que hay que reforzar en los enganches de los vástagos donde se concentran los esfuerzos de tiro.

El mecanismo de maniobra de suspensión de cadena <<Galle>> es muy simple, ya que consta de dos cabezales independientes, dispuestos en ambas pilas, unidos mediante una transmisión mecánica (fig.2.62) o bien por eje eléctrico. Uno de los cabezales es motriz y el otro conducido.

Un motor eléctrico acciona los piñones de acero forjado, que recogen las cadenas, a través de las reducciones necesarias.



**Figura 2.62** Transmisión mecánica

Este tipo de compuertas puede accionarse automáticamente mediante mecanismos hidráulicos fundados en mayor o menor aportación de agua al embalse. Describiremos a continuación dos de ellos:

### 1. Mecanismo electro-automático.

Está constituido por un flotador al cual va unido una varilla guiada y un tope para contacto con dos interruptores fin de recorrido, dispuesto al efecto. En un bastidor y mediante soportes guías, se desliza una cremallera que, a través de las reducciones necesarias, engrana con el mecanismo de elevación, Este conjunto de engranajes constituye en mecanismo de compensación, mediante el cual se corrigen los movimientos de la compuerta, evitando que se produzcan movimientos bruscos que afecten la sensibilidad del mecanismo.

La varilla anterior, accionando oportunamente los interruptores correspondientes, actúa sobre la puesta en marcha o parada, manteniendo automáticamente la compuerta en las cotas previstas.

La sensibilidad del mecanismo es tal que el movimiento de la compuerta es suave y sin oscilaciones.

Puede asumirse como sigue el funcionamiento de la compuerta.

Suponiendo que el nivel fijado como de máxima retenida subiese a consecuencia de avenidas, el flotador <<ordena>> la puesta en marcha del motor y la compuerta comienza a elevarse, haciéndolo hasta evacuar el exceso de agua sobre el nivel fijado.

Inversamente, si éste baja, el flotador desciende haciendo que la compuerta cierre.

### 2. Mecanismo hidráulico-automático.

Todas las compuertas con automaticidad hidráulica basan dicha automaticidad en el contrapeso flotador sumergible, que por la variación del nivel en el sitio donde se aloje, da lugar a esfuerzos que, en suma, producen los movimientos de la compuerta.

Debido a que algunos tipos de compuerta, por sus dimensiones, necesitan contrapesos de gran volumen, a veces se usan dos, alojados uno en cada pila, con el fin de reducir en lo posible la obra de fábrica que en estos casos es siempre considerable. Siendo así, las cámaras van comunicadas por una tubería, ya que el mecanismo de gobierno se coloca solamente en una de las pilas.

El funcionamiento del automatismo es como sigue:

Al empezar a elevarse el agua del embalse, estando la válvula de desagüe cerrada, se inundan los contrapesos, que quedan rodeados por el agua, desplazando de su peso el que precisan para desequilibrar la tensión originada en la cadena de suspensión del tablero, el cual está entonces en su posición más alta. Este tablero empezará a descender al mismo tiempo que va ascendiendo el contrapeso, hasta que, alcanzando el agua la cota de la solera de la compuerta, ésta ha llegado a cerrar completamente el vano y se proseguirá el llenado del embalse hasta su cota de nivel máximo.

En el momento en que se ha cerrado la compuerta, hay que cerrar a su vez la compuertilla inferior para que así, puesto que la superior está abierta, entre en funcionamiento el mecanismo automático a su debido tiempo.



A medida que va ascendiendo el nivel del embalse, las cámaras de los contrapesos seguirán inundándose cada vez más hasta quedar éstos totalmente sumergidos.

Puesto que el agua sigue subiendo, llega un momento en que también inunda la pequeña cámara de otro flotador, que forma parte del mecanismo regulador, de modo que al alcanzarse el nivel máximo este flotador actuará determinando, con su desplazamiento, el movimiento de las palancas del mecanismo, a las que van unidas unas válvulas cilíndricas debidamente contrapesadas.

En tales movimientos, la válvula de admisión de las cámaras de contrapesos se cierra, mientras que la del desagüe se abre, originando el vaciado de las citadas cámaras y con ello el descenso del contrapeso, que tirará de la compuerta efectuándose la apertura del vano y, por consiguiente, el desagüe del embalse en la medida que precise para mantener el nivel constante.

Esta regulación de los caudales a desaguar, con relación a la mayor o menor aportación de agua al embalse, queda conseguida en este dispositivo hidráulico por efecto de la compensación automática que relaciona los movimientos de la compuerta con los del flotador, por un dispositivo colocado en el eje del piñón para la suspensión de la compuerta, correspondiente a la pila en que queda instalado el mecanismo hidráulico.

Con este dispositivo el movimiento de la compuerta se efectúa suavemente y ésta toma su posición de equilibrio sin saltos bruscos ni vibraciones, que tanto perjudican el buen funcionamiento de todos los tipos de compuertas automáticas no compensadas.

#### b) *Compuerta Vagón.*

Se compone de los siguientes elementos:

- Tablero metálico o compuerta propiamente dicha.
- Carretones o rodillos.
- Impermeabilizaciones.
- Mecanismo.

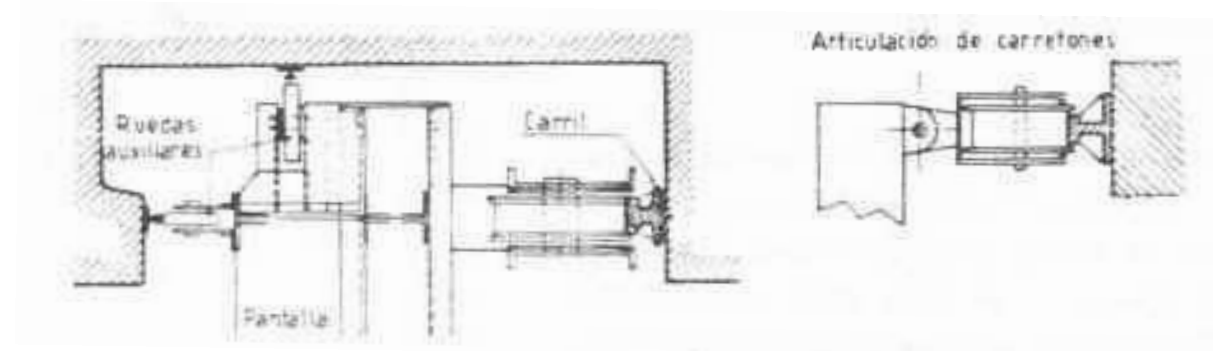


**Figura 2.63** *Compuertas vagón en un aliviadero*

El tablero está formado por vigas horizontales principales que soportan la presión total de agua, sobre las que se apoyan una serie de arriostramientos verticales formados, como las anteriores vigas, por perfiles laminados. Sobre estos arriostramientos verticales apoyan vigas en número que depende de las dimensiones de la compuerta, carga de agua, etc. , y de las cuales dos de ellas constituyen el dintel y la solera y las otras dos son intermedias horizontales, necesarias como elementos de refuerzo y reducción de los vanos a cubrir por la chapa de forro.

En sentido vertical se disponen costillas o cuadernas que servirán de apoyo a la chapa metálica de revestimiento.

En los extremos de las vigas principales, también verticalmente, se colocan dos robustas vigas en las que apoyan los carretes de rodillos de presión (fig.2.64), así como otros juegos más pequeños que se disponen para las guías de contrapresión y laterales, de manera que el tablero va perfectamente guiado en su movimiento. Todas las uniones de perfiles y chapas se realizan por medio de soldadura eléctrica, salvo aquellas que por necesidades de montaje sea preferible atornillar o sean desmontables.



**Figura 2.64** Detalle situación rodillos en compuertas vagón en aliviadero

En algunos casos en que el agua deba saltar por encima, la compuerta llevará una vertiente que guíe la lámina protegiéndose los rodillos mediante pantallas metálicas.

Los carretes de rodillos generalmente están formados por cajones de perfiles laminados, soldados, en los que van alojados los rodillos y sobre los que se apoya la viga mencionada anteriormente por intermedio de rótulas colocadas precisamente en los extremos de las vigas principales. El peso de los carretes es soportado por el tablero a través de unas consolas especiales que dejan juego a los carretes para que por medio de las rótulas se adapten a los carriles, asegurando una rodadura y apoyos perfectos.

Como cada uno de estos carretes lleva dos rodillos, la compuerta, que generalmente lleva los carretes, se apoya sobre ocho rodillos. Cada rodillo está formado por una aro exterior, que lleva la banda de rodadura con o sin pestaña, y otro aro interior calado en el eje, relacionándose ambas partes por rodamientos de rodillos que quedan alojados en una caja estanca. El engrase se dispone de modo que pueda efectuarse desde la parte superior del carretón.

A pesar de que en este tipo de compuertas no se inundan los rodillos, éstos van dispuestos con cierre perfecto para evitar salpicaduras a los rodamientos, que además van protegidos por una grasa especial que impediría la penetración del agua o bien se emulsiona con ella sin que se deterioren los rodamientos.

Las impermeabilizaciones laterales pueden efectuarse por medio de palastros flexibles, provistos de tacos de madera que, por presión del agua, se adaptan contra las armaduras fijas a la fábrica, o bien mejor disponiendo convenientemente sujetas al tablero, bandas de goma en forma de ángulo o nota musical que proporcionan un cierre perfectamente estanco.

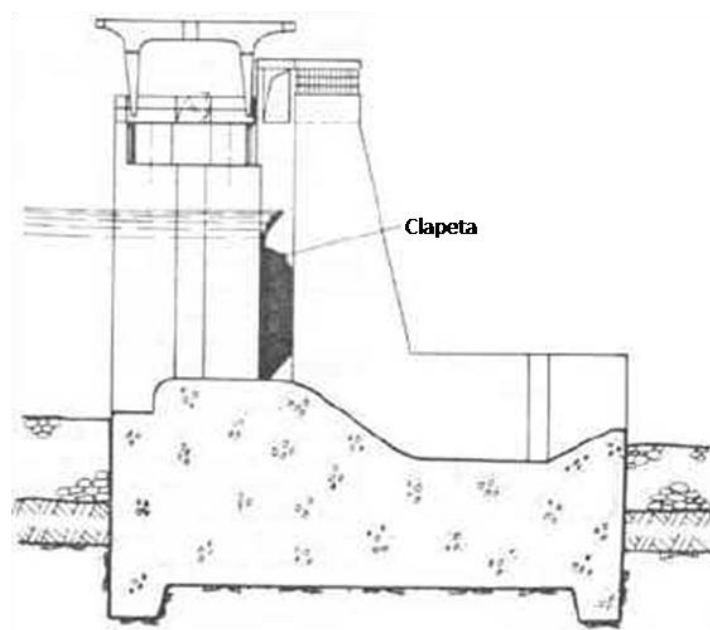
Casi invariablemente el cierre en solera se produce por un larguero de madera que se atornilla en la parte inferior del tablero y ajustado de forma que, con el solo peso del tablero, se produce el perfecto cierre. No obstante, para incrementar éste, aún se dispone, además, una pletina de goma que la presión hidráulica aprieta contra el asiento, con lo cual la estanqueidad es perfecta.

Las armaduras fijas van ancladas a la obra de fábrica, contándose con una armadura en solera, dos carriles de presión laterales, dos de contrapresión, dos de guía lateral y dos deslizaderas o apoyos de impermeabilizaciones.

La maniobra de elevación y descenso puede realizarse por mecanismo de husillo, servomotor hidráulico o cabestrante.

El mecanismo de cadena <<Galle>> ha sido descrito en las compuertas Taintor, y los de servomotor y husillo en las compuertas deslizantes de los desagües de fondo.

Finalmente, haremos notar que este tipo de compuertas puede construirse con alza o clapeta abatible (fig.2.65), que puede girar sobre una charnela. En el mecanismo se incluye un dispositivo adecuado que, accionado a mano, permite abatir el alza siempre que se desee, El accionamiento puede ser también hidráulico.



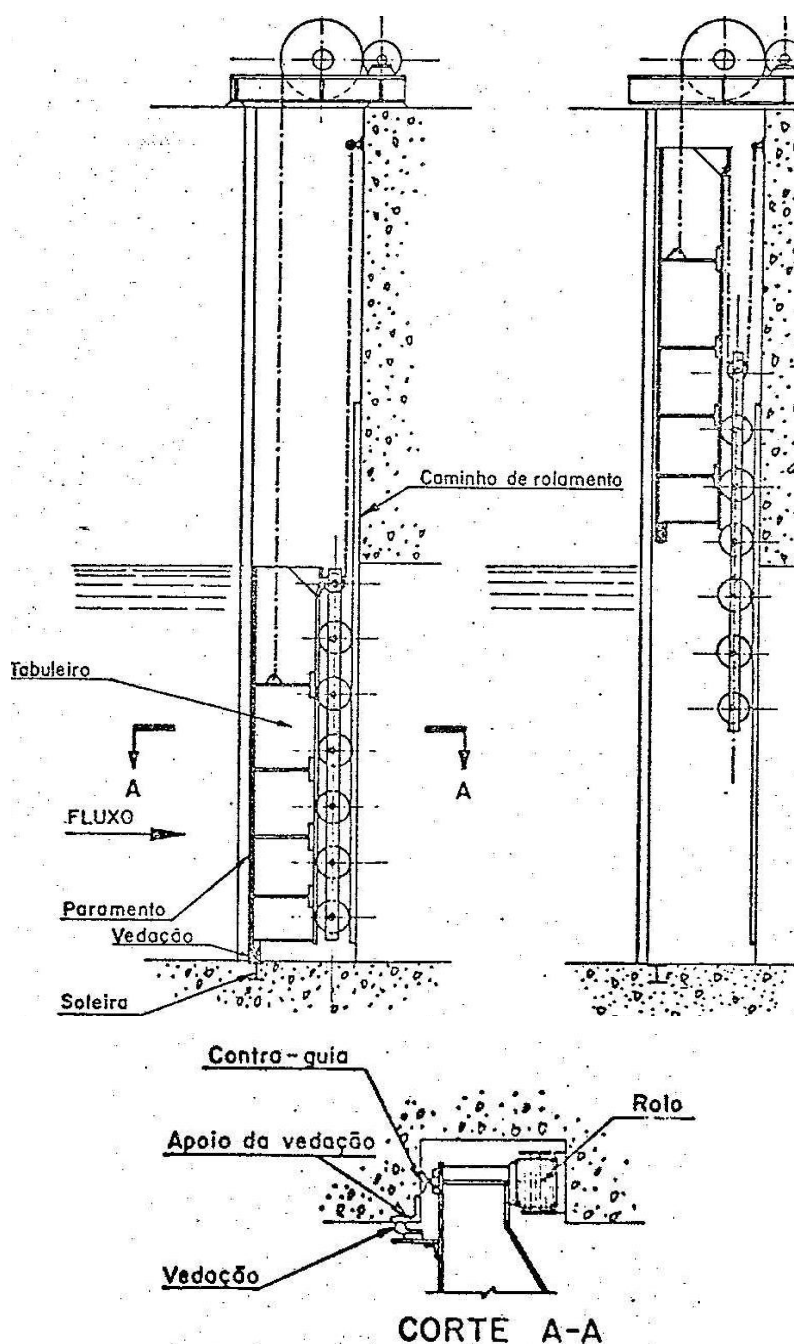
**Figura 2.65** Compuerta vagón con clapeta en aliviadero



c) *Compuerta Stoney.*

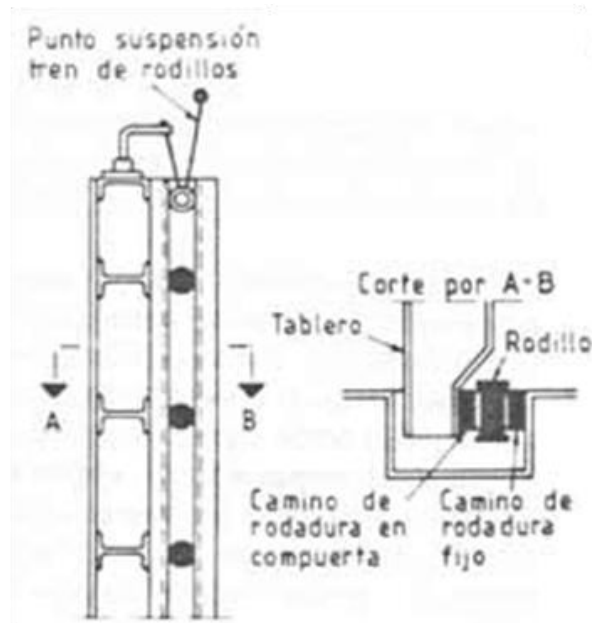
La construcción del tablero de esta compuerta es análoga a la de las compuertas vagón descritas anteriormente. Este tablero apoya, por intermedio de rótulas, sobre una placa de acero moldeado que reparte el empuje sobre los rodillos Stoney o rodillos de apoyo, los cuales se desplazan en su recorrido no sólo sobre los carriles dispuestos en los nichos, sino con respecto a la compuerta.

En la figura 2.66 podemos ver un Croquis compuerta Stoney donde podemos distinguir las diferentes partes de esta compuerta.



**Figura 2.66** Croquis compuerta Stoney

Los rodillos se disponen alineados verticalmente con sus ejes sujetos a dos armaduras verticales que en su extremo superior se suspenden por polea móvil con dos tiros de cable, uno de los cuales se amarra a un punto de la compuerta y el otro a un punto fijo en la fábrica de la Presa. De esta forma, al elevar la compuerta, los Stoney recorren un camino igual a la mitad que recorre aquella. La separación de los rodillos de los Stoney es tal que, en la posición más baja de la compuerta, el empuje ejercido por el agua sobre la misma se reparte por igual entre todos los rodillos (fig.2.67)



**Figura 2.67** Tren de rodillos

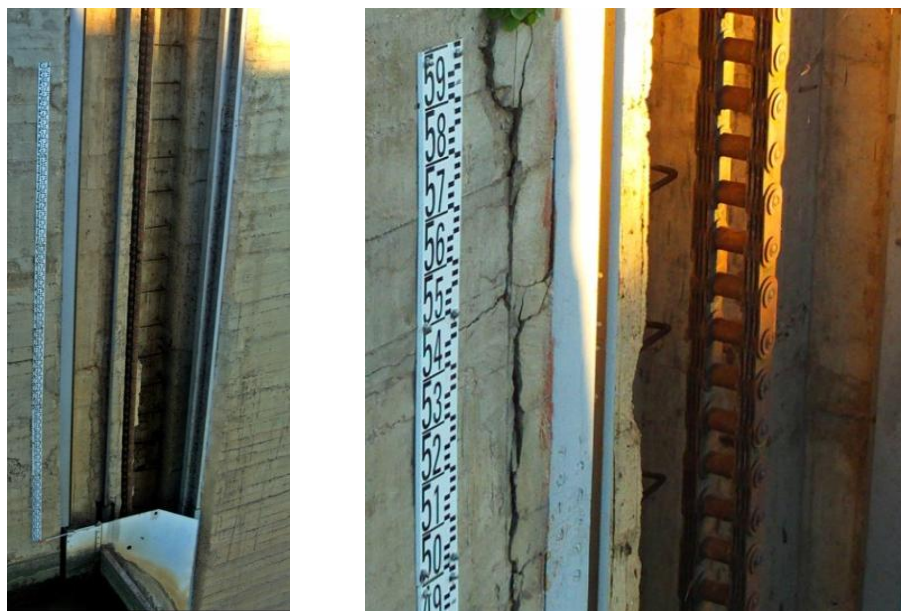
La suspensión de la compuerta se hace por medio de cable en tiro sencillo, a cada lado de la compuerta, enrollándose éste en el tambor correspondiente del cabezal colocado en la pite. Estos cabezales, movidos por engranajes rectos, se relacionan entre sí por un eje mecánico a fin de que la elevación de la compuerta se efectúe siempre manteniendo la horizontabilidad.

En el mecanismo como podemos ver en la figura 2.68, se incluye un indicador de posición, así como fines de carrera

El tipo de compuerta <<Stoney>> ha caído en desuso, habiendo sido sustituida por el tipo vagón, que presenta las siguientes ventajas respecto a la que ahora nos ocupa:

- Los carretes de rodillos, que se desplazan juntamente con el tablero, quedan al elevar la compuerta totalmente fuera del agua, permitiendo su revisión y engrase.
- Las reacciones que se producen en los apoyos son en todo momento determinadas, tanto en magnitud como en posición.
- La suspensión es mucho más sencilla, ya que solamente es precisa la necesaria para maniobrar el tablero.

- El recorrido de elevación puede ser tan grande como se quiera, cosa que en las Stoney supondría unos carretones excesivamente largos, con el aumento de peso consiguiente.
- Disminuye el número de rodillos y el asiento es más perfecto.



**Figura 2.68** Indicador de posición y cadena tipo Galle en compuerta Stoney

Hay algunas ventajas de la <<Stoney>> sobre el tipo vagón, tales como el esfuerzo de elevación es más reducido y que el conjunto de la compuerta resulta algo más económico sin embargo, proyectando los rodillos de la compuerta vagón con rodamientos, se reduce notablemente el esfuerzo de rodadura y esta ventaja no es tan sensible.

d) *Compuerta de clapeta.*

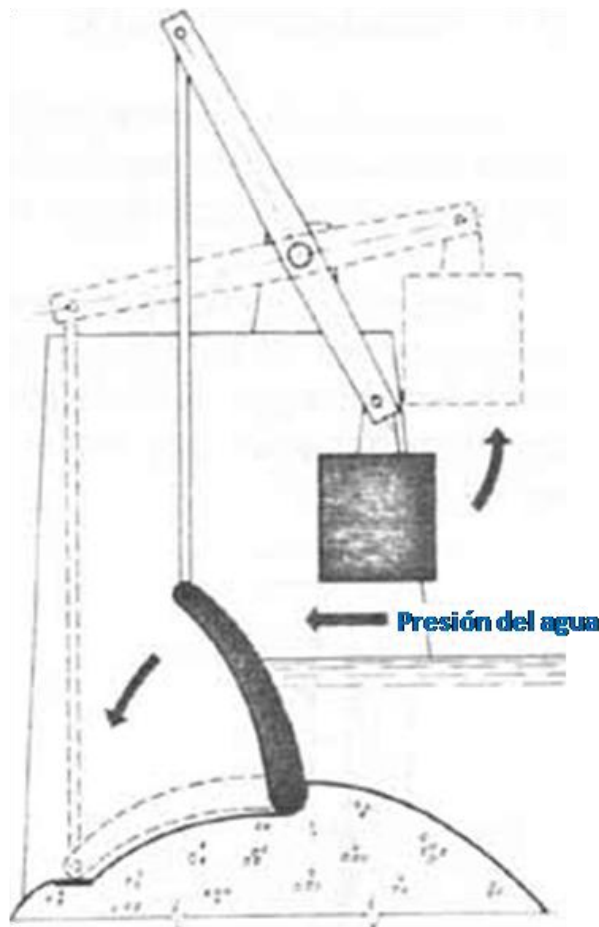
Este tipo de compuertas basculantes están formadas por un tablero articulado en su arista de aguas arriba, que puede abatirse dando paso al agua.

Aunque existen clapetas sin contrapeso, el tipo más extendido, es el de contrapeso con funcionamiento automático.

Un sistema de balancines transmite el movimiento, de manera que la compuerta se une, por tirantes, a uno de los extremos del balancín, mientras que el otro pende el contrapeso (fig.2.69)

El fundamento estriba en la combinación de la forma de la compuerta y la variación del brazo de palanca del contrapeso por un lado, y del paso del agua y el propio de la compuerta por otro, en cada posición de la misma.

La construcción del tablero se efectúa con perfiles laminados recubiertos de chapa, provisto de una serie de vigas horizontales y cuadernas verticales de arriostramiento y enlace.



**Figura 2.69** Compuerta de clapeta automática

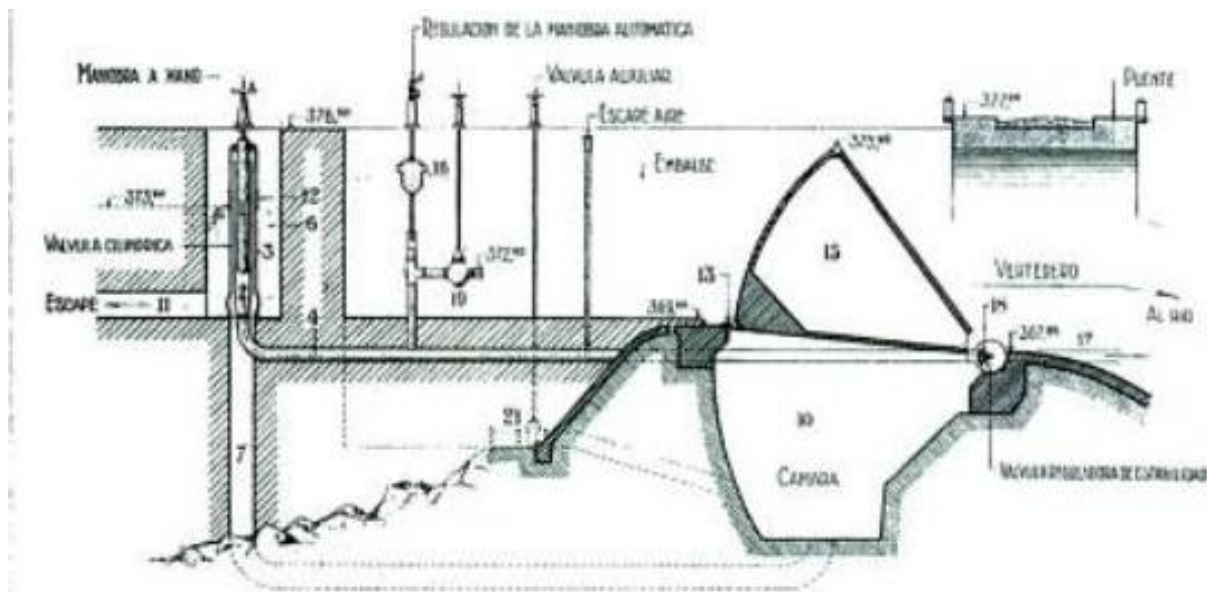
La charnela de giro la forman cojinetes, en número variable según el vano, y las impermeabilizaciones pueden efectuarse, en solera, por medio de palastro flexible y gomas que por la presión se adaptan contra una chapa curvada, concéntrica con el eje de giro, la cual es prolongación de la pantalla. Las impermeabilizaciones laterales son bandas de goma que se aprietan contra los paramentos.

La suspensión de la clapeta al balancín se efectúa por tirantes provistos de elementos tensores que permiten ajustar su longitud.

e) *Compuerta de sector, tipo americano, con eje de giro aguas arriba.*

La instalación de este tipo de compuertas resulta de mucho mayor coste que la de compuertas Taintor, debido a la mayor cantidad de material laminado que las forman.

Estas compuertas, accionadas exclusivamente por el agua que entra o sale en la cámara de alojamiento, que hay que disponer adecuadamente en la presa, resultan de muy fácil funcionamiento, por cuanto el mecanismo hidráulico es muy sencillo, reduciéndose a una válvula especial que regula la posición del sector en función de la afluencia que recibe el embalse (fig.2.70 y fig.2.71)



**Figura 2.70** Alza automática de sector en una presa

Quedan fijadas y articuladas por el eje de giro que se dispone en la solera del vano, aguas arriba del sector, constituyendo una especie de flotador interpuesto en los vanos que han de cerrar.

El sector girará más o menos, elevándose o abatiéndose el extremo opuesto según la mayor o menor presión que se ejerce en la cámara en que queda alojado. Esta cámara queda ubicada en el mismo macizo que forma el vertedero de la presa, de manera que al que, al quedar la compuerta completamente abatida, quede constituido el vertedero con la misma curva del perfil Creager que corresponde a la presa. Cuando está completamente elevada, forma la pantalla de retenida del embalse normal máximo, con el resguardo conveniente sobre dicho nivel para evitar que salte el agua al producirse oleaje en el embalse.

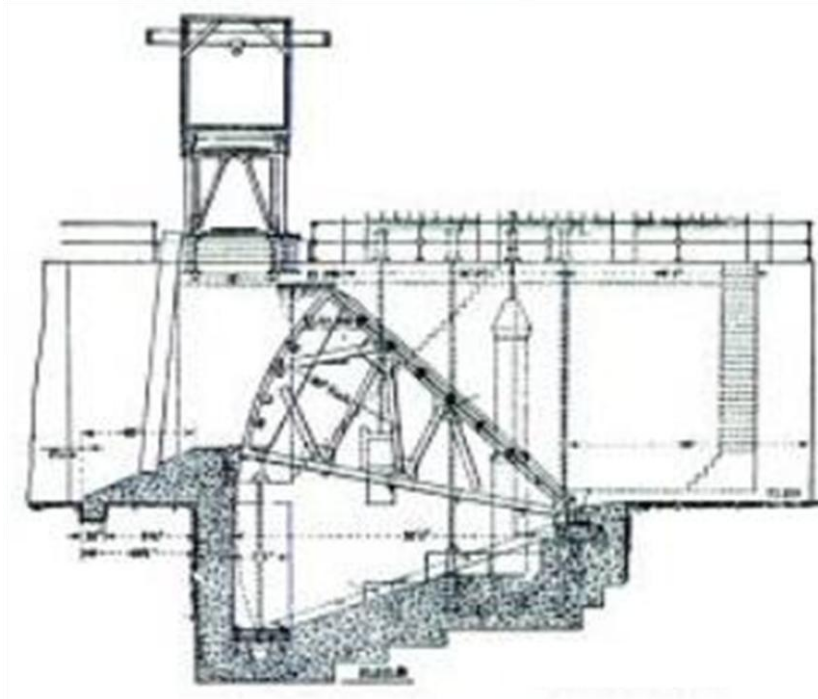
La compuerta está constituida por una rígida estructura metálica que queda recubierta por las paredes que limitan el sector circular, formando un flotador completamente cerrado. Se disponen cuadernas principales que contornean interiormente el sector y costillas que disminuyan el recuadro de chapa, dando al conjunto gran rigidez.

El sector se fija en los correspondientes bulones por medio de cojinetes de material inoxidable.

Para la retención de la compuerta en su posición elevada se prevén los correspondientes hierros fijos anclados en los muros. Unos topes móviles constituyen un sistema de enclavamiento que permite que la compuerta retenga el máximo embalse sin que la cámara de alojamiento tenga agua.

Las impermeabilizaciones son bandas de goma que se adaptan, por la presión hidráulica, a las superficies por las que deslizan.





**Figura 2.71** Alza automática de sector en una presa

El mecanismo de accionamiento automático (fig.2.71) se sitúa en la parte inferior de la pila, en comunicación con un pozo en el que se aloja un flotador. Al ir ascendiendo el agua dentro de este pozo, el flotador se eleva, accionando una válvula que comunica con el exterior con la cámara donde se aloja la compuerta, produciéndose la salida del agua e iniciándose el descenso de la compuerta.

Cuando el agua baja, el fenómeno se produce a la inversa, repitiéndose hasta que la compuerta queda en una posición tal que se desaloja tanta agua como entra en el embalse.

f) *Compuerta de sector tipo europeo con eje de giro aguas abajo.*

Su principio de funcionamiento es análogo, se diferenciándose en la situación del eje de giro que queda fijado en el vértice del triángulo cuya base en la cara curva de la compuerta en contacto con el agua embalsada.

g) *Compuerta de alza de tejado.*

Los creadores de este tipo de compuerta han sido los ingenieros Huber G. Lutz, de Zúrich, habiéndose instalado varias de ellas en Europa y América. Tienen la ventaja de no presentar al exterior del agua ningún elemento saliente ni exigir puente o pasarela para su funcionamiento.

El tipo clásico, de 1914, sufrió una importante mejora en 1932 y después, sucesivamente, ha ido perfeccionándose a medida que su uso ha hecho patente los defectos, que de este modo se han podido corregir.

La compuerta en sí consta de dos alzas, una superior y otra inferior, formadas por un entramado metálico, forrado de chapa, efectuándose la unión entre ambas en el lado de aguas arriba, con lo que se consigue que no haya pérdida de agua por dicha unión.

Las dos alzas, que pueden oscilar sobre sendos ejes horizontales, forman un espacio o cámara cerrada, la cual puede ser puesta a voluntad en comunicación con aguas arriba o aguas abajo, para hacerles subir o bajar.

El alza de aguas arriba suele ser recta, mientras que el de aguas abajo es de forma redondeada, con el fin de conseguir una buena circulación de agua por la coronación del vertedero. Esta segunda alza lleva, en su parte superior, un cilindro estanco o flotador, cuyo empuje ascensional compensa, casi totalmente, el peso propio, de forma que para elevar la compuerta basta con una pequeña diferencia de nivel entre aguas arriba y aguas abajo.

Cada una de las alzas se compone de cuadernas, recubiertas de chapa de espesor suficiente, girando el conjunto por medio de ejes con sus cojinetes de bronce anclados a la obra de fábrica.

Las impermeabilizaciones se consiguen mediante bandas de goma que por medio de la presión hidráulica se adaptan perfectamente a las superficies de apoyo y deslizamiento. La impermeabilización en la unión de las dos alzas se efectúa por medio de una plancha de goma unida a la chapa de recubrimiento del alza de aguas arriba, apoyándose sobre la chapa del alza de aguas abajo. En la posición normal de alzas elevadas, esta junta queda sumergida y, estando equilibrada la presión dentro y fuera, no existe paso a través de ella. Cuando la compuerta elevada y enclavada no tiene agua en el interior de la cámara, o cuando está abatida por completo, la junta queda cerrada por la propia presión evitando la entrada de elementos extraños arrastrados por el agua.

Las compuertas permiten una regulación del nivel del embalse automáticamente o por accionamiento exterior. Para lo primero se dispone en las pilas un sistema de regulación, consistente en una cámara, dividida en dos compartimentos, en cuyo interior se disponen válvulas cilíndricas accionadas convenientemente por los movimientos de un flotador, cuya posición de equilibrio viene determinada por el nivel del embalse.

Para la maniobra no automática se dispone el mecanismo correspondiente, pudiendo ser modificado el nivel de retenida normal por medio de un husillo, con el correspondiente volante, que obliga a moverse la compuerta.

Todos los mecanismos de la cámara de regulación quedan en el interior de la pila, no siendo visibles desde el exterior. Como seguridad se dispone de un sistema de enclavamiento.

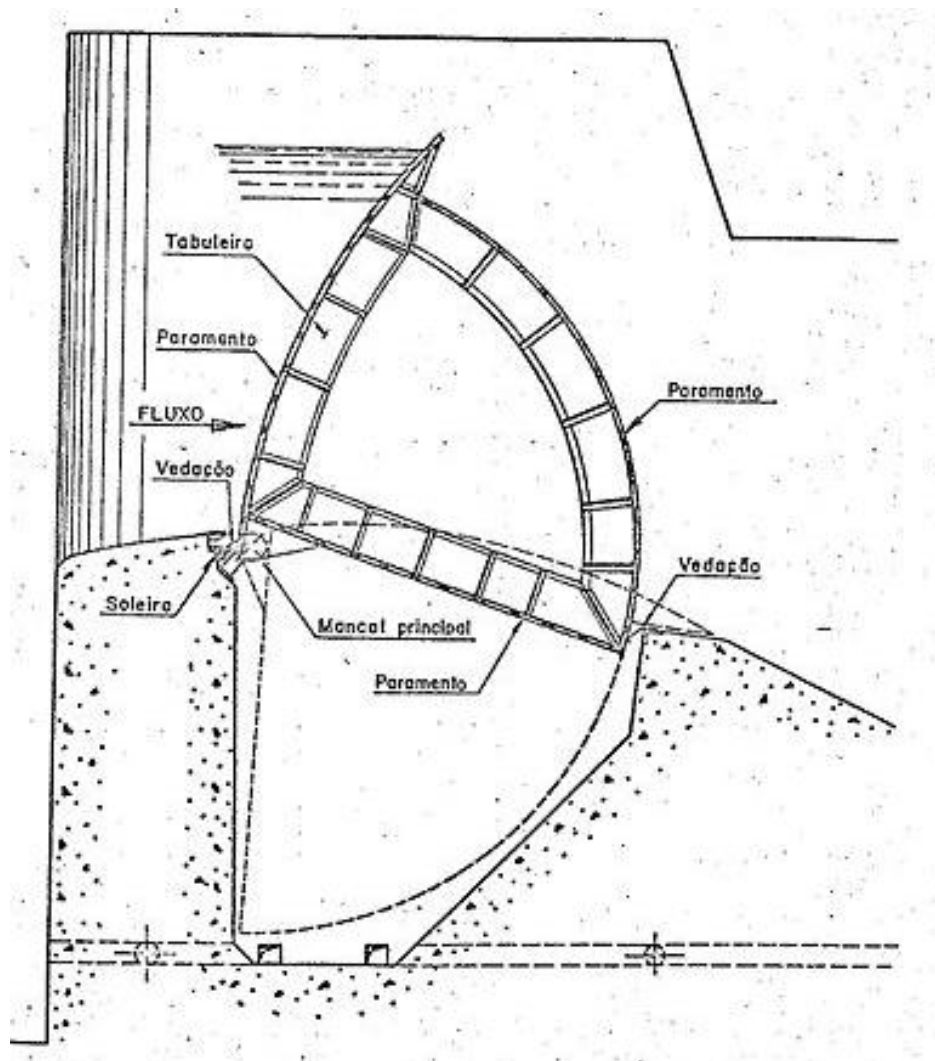
#### *h) Compuerta tambor.*

Este tipo de compuerta antiguamente muy utilizado se emplea hoy muy poco en presas de derivación habiendo quedado sustituido, sobre todo en España, por otros tipos más adecuados.

En la figura 2.72 podemos ver el esquema de una compuerta tipo tambor.

Esencialmente consiste en un tambor cilíndrico, de longitud igual a la luz del vano a cerrar, obturando una altura de agua igual a su diámetro.

En cada extremo del cilindro existen dos ruedas dentadas que engranan en sendas cremalleras. La elevación se efectúa por medio de cables que desplazan el tambor a lo largo de un plano inclinado.



**Figura 2.72** Esquema de compuerta tipo tambor

La impermeabilización en solera se consigue con un larguero de madera reforzado por una pletina de goma. Los laterales por medio de bandas de goma de perfil especial.

Aunque este tipo de pantallas es muy apto para cerrar grandes vanos, la poca altura de remanso que se consigue ha limitado su uso notablemente, habiéndose relegado a países fríos donde el paso de los cuerpos flotantes exige prevención de grandes vanos.

Dado el escaso interés de este tipo de compuertas en España, no entraremos en detalles de los elementos de su construcción, que por otra parte se reducen a una pantalla cilíndrica, convenientemente arriostrada, y un mecanismo de elevación de torno o cabestrante.

### 2.1.9. Presas de derivación

En las presas de derivación para dar paso a las avenidas que no pueden ser empleadas en la central o elementos de utilización normal se dispone de una parte móvil que efectúa la misma función que el aliviadero móvil de un embalse. Es, por lo tanto, la parte móvil de una presa de derivación completamente análoga a la de un aliviadero de superficie de embalse del que únicamente se diferencia en algún caso en que el perfil del vertedero es más ancho y que también puede suceder en algunas instalaciones en que puede haber contrapresión agua abajo de los cierres y funcionar como vertedero sumergido.

La disposición y cierres utilizados normalmente, descartando las antiguas presas de aguas hoy en desuso, son los citados en el capítulo anterior de aliviaderos de embalse donde puede verse su descripción.

Añadiremos únicamente que algunos tipos de compuertas que requieren un vertedero de perfil ancho como son, por ejemplo, las compuertas de sector con eje agua abajo y las de alza de tejado, son más empleadas en presas de derivación que en las de embalse.

También el tipo de tambor adecuado para grandes luces y poca altura, hoy poco utilizado, es, por tanto, más adecuado para presas de derivación.

# Capítulo 3

## Introducción a la herramienta de diseño y cálculo

### 3.1.Introducción a Catia V5.

CATIA V5, cuyas siglas en inglés significan Computer Aided Three-dimensional Interactive Application Version 5, es un programa que proporciona nuevas soluciones de diseño y fabricación y está ocupando un puesto de privilegio en el modelado sólido dentro del ámbito profesional.

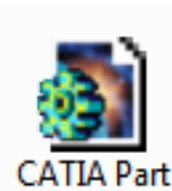
Esta herramienta, tan importante en la industria del diseño y uno de los softwares más potentes y requeridos en el mundo por su rapidez en diseñar en 3D, es ahora distribuido por IBM. Con este programa es posible trabajar superficies avanzadas y sólidos complejos, con herramientas y opciones que no poseen los CAD de gama media. Consiste en un conjunto de aplicaciones informáticas que cubren todos los aspectos del diseño productivo: diseño asistido por ordenador (CAD, Computer Aided Design), ingeniería asistida por ordenador (CAE, Computer Aided Engineering) y fabricación asistida por ordenador (CAM, Computer Aided Engineering), bien proporcionando la funcionalidad necesaria para facilitar diseños industriales cooperativos de todo tipo, o bien mediante una integración que permite un apoyo continuo al proceso industrial de la empresa en su conjunto.

La información en CATIA V5 está distribuida en módulos de trabajo en función de su finalidad. Algunos de los módulos más utilizados en diseño serán Part Design, Assembly Design, y Wireframe and Surface Design, en especial los dos primeros, siendo cada módulo

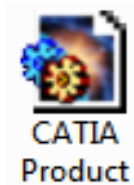


compatible con unos determinados tipos de archivo con extensiones y características diferentes.

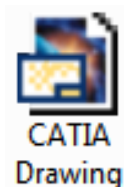
Existen diversos tipos de documentos en CATIA V5. Los documentos más utilizados son:



**Part:** contiene toda la información geométrica de una pieza. En este documento se almacenan todos los elementos necesarios para poder construir dicha pieza, desde las dimensiones hasta el material o el color de la misma. LA extensión que poseen estos archivos es CATPart. Si deseamos editar una pieza utilizaremos cualquiera de los módulos de edición compatibles, dependiendo de lo que se desee hacer con la pieza. Los más relevantes son: Part Design, Sketcher, Wireframe and surface Design, Generative Shape design, Knowledge Advisor, etc



**Product:** está constituido por una serie de Parts orientados unos con respecto a otros formando un conjunto. En este documento se almacena la posición de los Parts que contiene. También se guarda otras informaciones relativas a los Parts, como los enlaces que se establecen entre las piezas dentro del Product, las simulaciones, el entorno gráfico, etc. La extensión de este archivo es CATProduct. Que un Product incluya a varios Parts, no significa que este documento sea de mayor tamaño que un CATPart, ya que no se almacena la geometría de los Parts contituyentes, sino su posición relativa en el espacio. Los módulos compatibles más usados son: Assembly Design, todos los del Digital Mockup, Knowledge Advisor, etc.



**Drawing:** estos documentos poseen la información relativa a los planos creados en el módulo Drafting, tanto de una pieza o Part, como de un conjunto de piezas o Product. Cuando se crea un documento de este tipo, se establece un enlace entre él y el CATPart o el CATProduct

De donde se han obtenido las vistas para generar el plano, de forma, que si el modelo original cambia, también lo hará el plano del documento Drafting. La extensión de estos archivos es CATDrawing.

CATIA V5 dispone de una gran variedad de módulos que se agrupan en talleres de trabajo figura 3.1

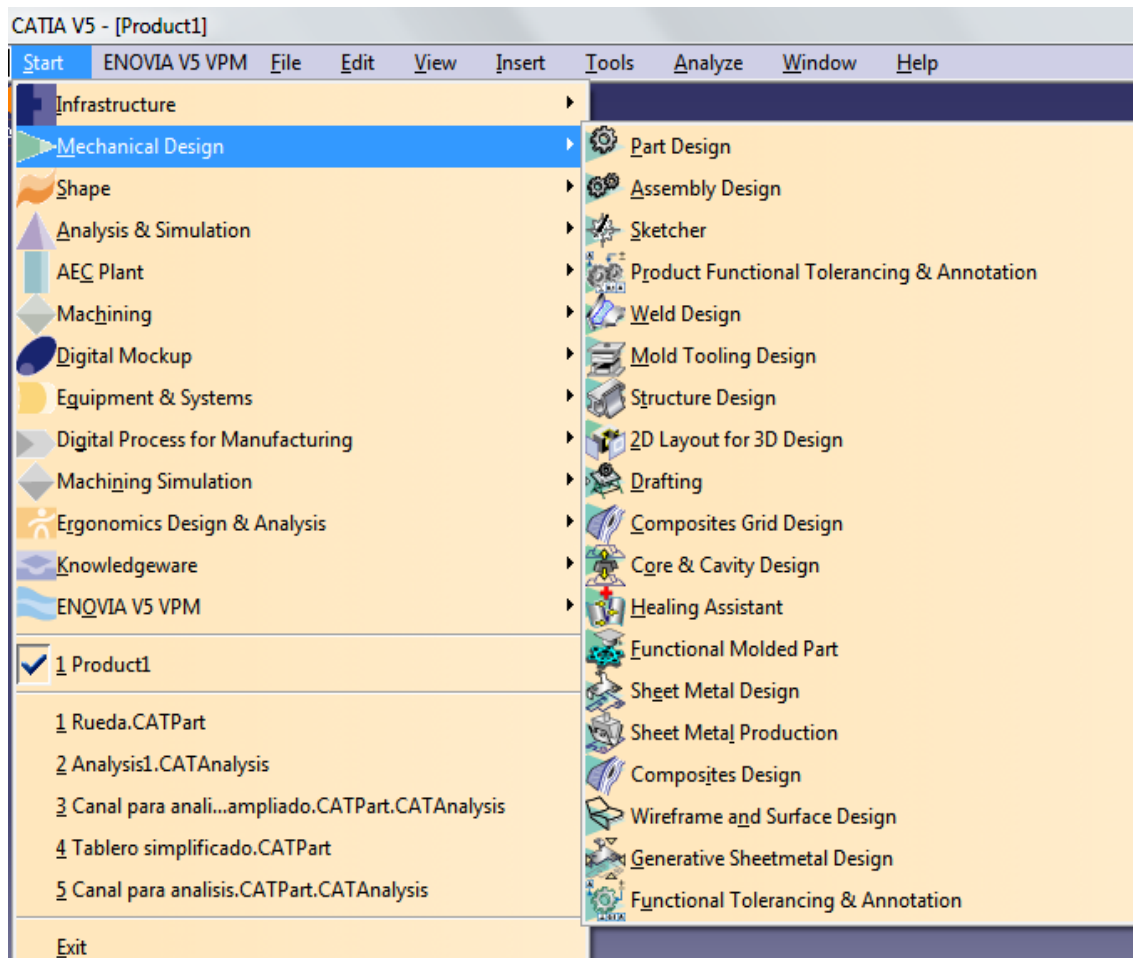


Figura 3.1 Talleres de trabajo Catia V5

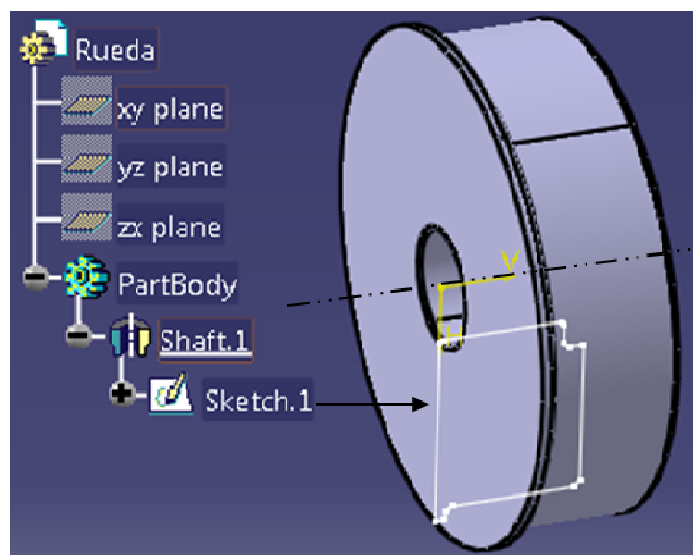
A continuación describiremos los principales módulos utilizados en el proyecto.

### 3.2.Módulo Part Design.

El Part design es el workbench dedicado a la creación de modelos sólidos. Antes de pasar al modelo 3D, dibujamos el perfil en 2D en el Sketcher, que es la interfase entre la concepción de la pieza y el modelo. A este perfil le aplicaremos las operaciones convenientes para pasar a 3D. Las más utilizadas son, como veremos, las extrusiones y las revoluciones de perfiles. Se usan también los barridos a lo largo de un camino, o las piezas que se adaptan a varios perfiles, etc. (fig.3.2). Como ejemplo en la figura 3.3 podemos ver como se ha generado el modelo 3D de una rueda mediante revolución de un sketch sobre un eje.



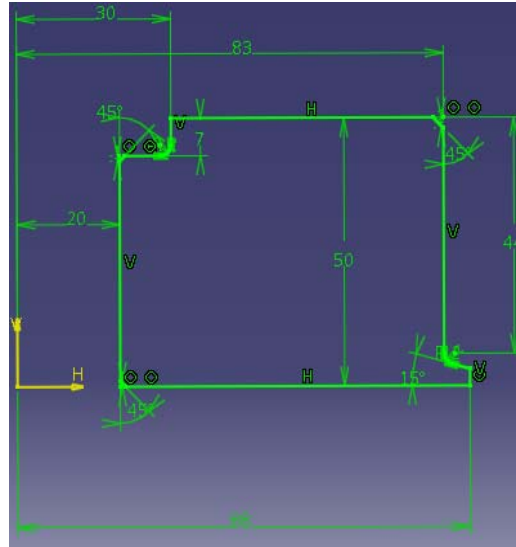
**Figura 3.2** Herramientas para la generación del 3D a partir del Sketcher.



**Figura 3.3** Rueda generada mediante revolución a partir de un sketch.

Volviendo a los perfiles, Catia es un programa paramétrico, esto quiere decir que guarda información de todas las operaciones que se realizan sobre la pieza en un árbol que podremos modificar en el momento que más nos interese.

El procedimiento adecuado sería dibujar primero un perfil aproximado (fig. 3.4), que luego acotaremos y estableceremos las restricciones adecuadas, hasta que la pieza se adapte completamente al perfil que queremos obtener. En cualquier momento podemos regresar a este Sketch y cambiar el perfil, cambiando con él la pieza. Este es uno de los puntos más importantes de este tipo de programas.



**Figura 3.4** Sketch parametrizado de la rueda.

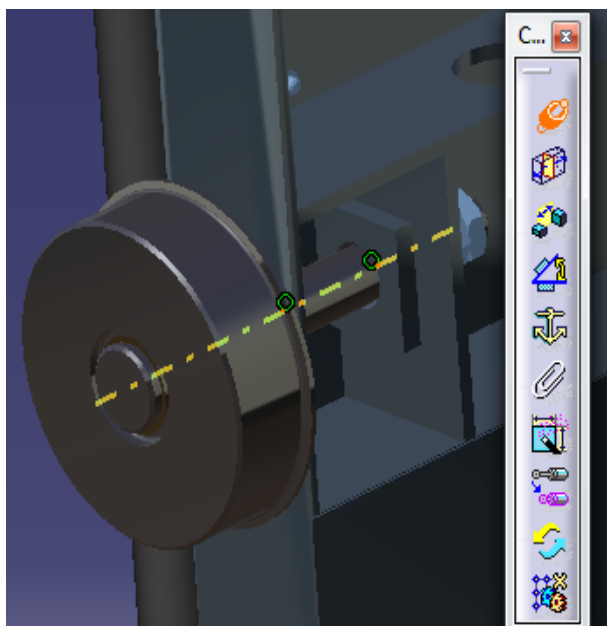
Cuando realizamos alguna de estas operaciones que nos permiten pasar al 3D, existen una serie de características que han de estar presentes en el modelo que pretendemos obtener. Por poner un ejemplo, los ángulos de desmoldeo que es un campo que damos como dato en una extrusión.

Miraremos siempre en el proceso de diseño, hacia la pieza final que queremos obtener, teniendo en cuenta el proceso de producción por el que materializaremos el diseño (molde, fresado, pultrusión, etc.), los materiales que utilizaremos, especificaciones de calidad, acabados, facilidad en el montaje, rango de actuación, etc.

En Catia han de dibujará piezas individuales, que luego se montarán en un ensamblaje o conjunto.

### 3.3.Módulo Assembly Design

Este módulo sirve para generar conjuntos. El proceso para elaborar ensamblajes se basa en incluir los componentes del ensamblaje en el fichero de conjunto (CATProduct). Sobre los componentes se establecen restricciones, de manera que el movimiento de estos componentes y del ensamblaje en sí, siga unas reglas determinadas según el mecanismo. E la figura 3.5 podemos ver una restricción tipo eje para la rueda dentro del tablero.



**Figura 3.5** Restricción de eje en la rueda.

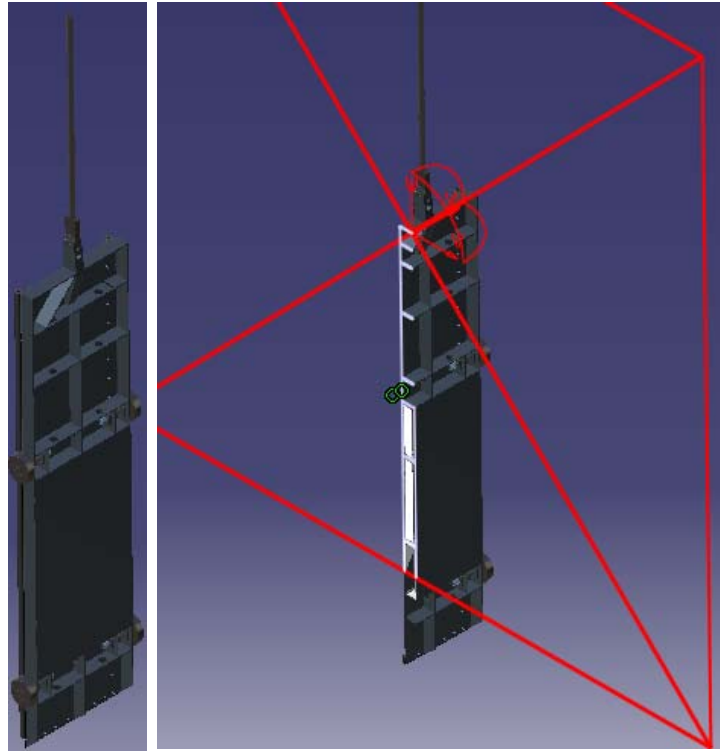
El módulo Assembly Design ofrece dentro de su Workbench diferentes paletas de herramientas que podemos ver en la siguiente tabla:

**Tabla 3.1** paletas dentro del modulo Assembly design.

PALETA DE HERRAMIENTAS	UTILIDAD
<i>Product Structure Tools</i>	Insertar componentes
<i>Constraints</i>	Restringir el ensamblaje
<i>Move</i>	Mover el ensamblaje
<i>Update Toolbar</i>	Actualiza el ensamblaje
<i>Assembly Features</i>	Realizar operaciones sobre el ensamblaje
<i>Assembly Geometry</i>	Crear elementos auxiliares
<i>Space Analysis Toolbar</i>	Análisis del ensamblaje

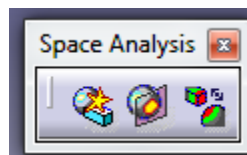
En este módulo también disponemos de herramientas para realizar secciones a los conjuntos para apreciar mejor su ensamblaje (fig.3.6), así como realizar análisis de interferencias y distancias entra componentes mediante la paleta Space Analysis (fig.3.7).





**Figura 3.6** Conjunto seccionado.

A partir de un ensamblaje se generan listas de materiales automáticamente, se detectan las colisiones y las holguras.



**Figura 3.7** Paleta Space Analysis.

### 3.4.Módulo Drafting.

Una vez definidas las piezas y los conjuntos, necesitaremos generar una documentación 2D para la fabricación e instalación de las piezas en un conjunto. Para ellos usaremos el módulo Drafting, que nos permitirá la generación de los planos de forma automática, fácil e intuitiva a partir de los modelos 3D. Los ficheros generados por este módulo tienen la extensión CATDrawing y están constituidas por una o varias Sheets u hojas en las que se encontrarán las vistas generadas.

En la figura 3.8 podemos ver un plano 2D generado a partir del su modelo 3D.



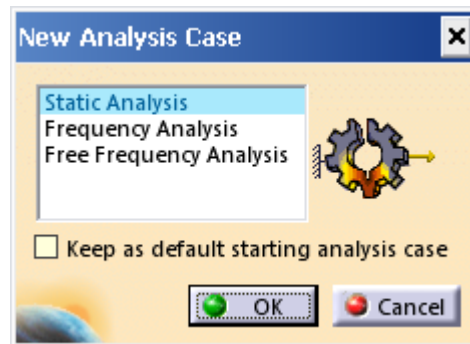
Funciona muy bien generando planos de montaje, ya que en un mismo plano podemos tener distintas configuraciones de producto, que se corresponderán con las distintas fases de montaje de este.

Este módulo permite hacer un análisis estructural a los modelos 3D. Esta aplicación es una interface intuitiva que ofrece la posibilidad de obtener información de propiedades mecánicas con muy pocas interacciones.

Página 94

elementos finitos, ya que hay muchos parámetros que no se pueden controlar, pero simplifica enormemente el análisis, sacrificando precisión.

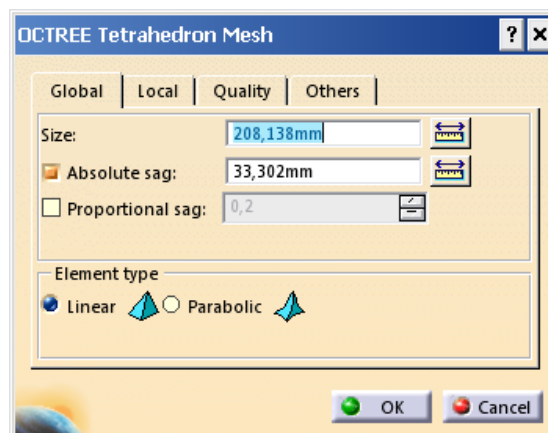
El módulo te permite hacer tres tipos de análisis (fig. 3.9).



**Figura 3.9** Ventana de selección de caso de análisis.

Los pasos a seguir para realizar un análisis básico son:

- Introducción del material de la parte a analizar.
- Definición del mallado (fig. 3.10).



**Figura 3.10** Ventana de definición de mallado.

- Creación de las restricciones de movimiento (fig.3.11).



**Figura 3.11** Ventana de selección de restricciones de movimiento

- Asignación de las cargas soportadas por la pieza (fig.3.12).



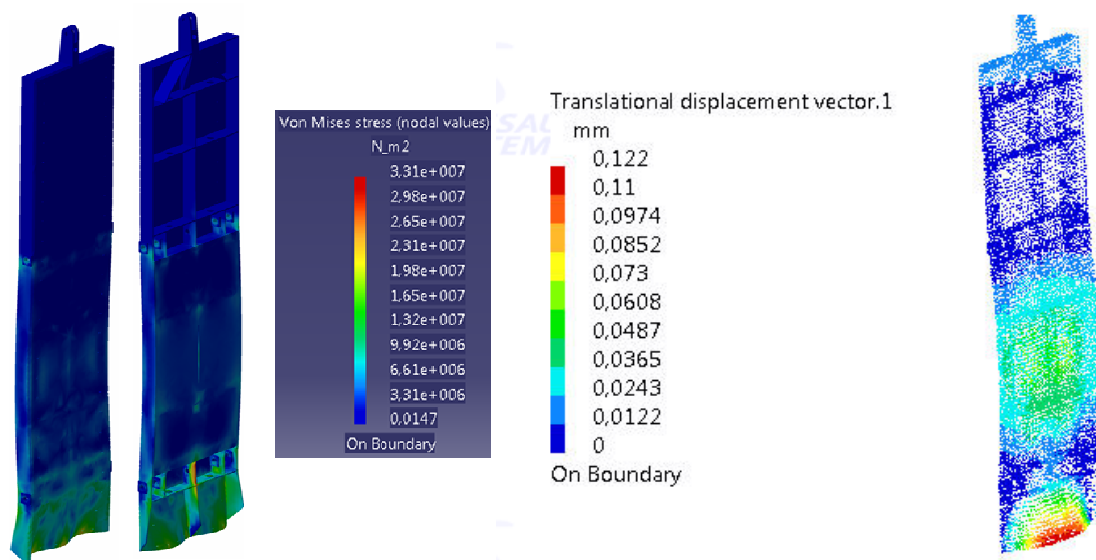
**Figura 3.12** Ventana de selección de asignación de cargas.

- Realizar los cálculos (fig. 3.14).



**Figura 3.13** Ventana de realización de cálculos.

Una vez finalizado los cálculos, el programa genera reportes en modo automático, con representaciones gráficas de las tensiones y deformaciones (fig. 3.15).



**Figura 3.14** Gráficas de tensiones y deformaciones.

Tenemos también dos **módulos de chapa**. Un módulo de diseño con muchas operaciones específicas en chapa y comandos directos. Permite la ingeniería simultánea entre las representaciones plegadas y desplegadas de la pieza. Un módulo de producción con el que se puede estudiar la viabilidad de cualquier pieza para ser construida en chapa.

Otro módulo interesante es el de **Diseño de estructuras metálicas**. Con él se pueden construir directamente estructuras lineales, curvas y placas. Los perfiles se escogen de una librería en la que están los principales estándares del mercado (IPN, IPE, UPN, UAP, CAE,...).

# Capítulo 4

## Especificaciones del sistema.

### 4.1. Ubicación de las compuertas y especificaciones técnicas.

Se van a llevar a cabo como hemos descrito anteriormente diversas acciones para paliar el problema de escasez de lluvias y sequías en zonas con economías basadas en la agricultura de regadío.

Una de esas actuaciones es construir una azud de derivación en el río (fig.3.1), que permita captar los excedentes hídricos de dicho cauce fluvial (manteniendo en todo momento el caudal ecológico), que en un caso contrario son vertidos al mar.. Con este azud se pretenden derivar los caudales excedentes que se verterían al mar, para su regulación y posterior recarga de los acuíferos.

Otro de las actuaciones es construir un canal de derivación (fig.4.1) que permita transportar los excedentes hídricos hasta el embalse de regulación (fig.4.2).





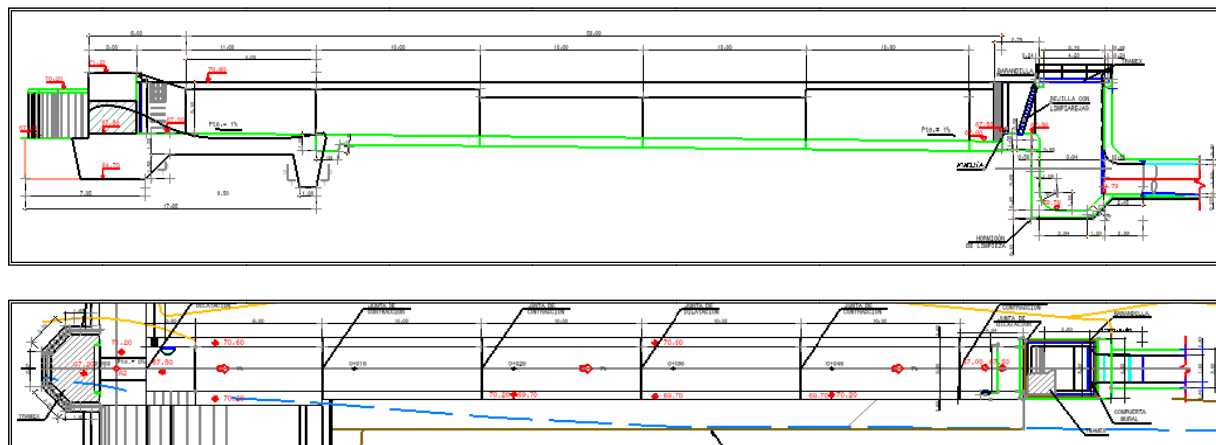
**Figura 4.1.** Azud y canal de derivación



**Figura 4.2.** Embalse regulador

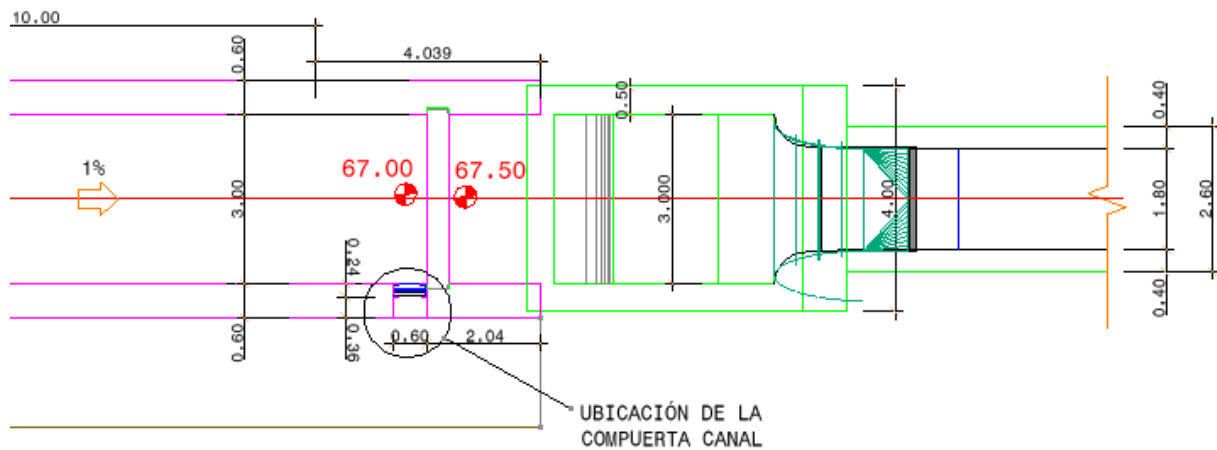
Las compuertas que vamos a diseñar según los requerimientos del cliente se encuentran situadas dentro del canal de derivación.

Para poder diseñar las compuertas necesitamos los datos de diseño del canal de derivación, de donde podremos obtener las principales dimensiones tanto de la compuerta canal como de la mural. Estos datos los sacaremos de los planos del canal de derivación que podemos ver en la figura 4.3.



**Figura 4.3.** Planos del canal de derivación





**Figura 4.4.** Plano de detalle de la ubicación de la compuerta canal.

Para la compuerta **canal** tendremos los siguientes datos de partida:

Ancho	600mm.	Alto	2700mm.	Presión	2,7 m.c.a.
-------	--------	------	---------	---------	------------

- Estanqueidad en el fondo y los dos cierres laterales en los dos sentidos de la corriente, tanto para impedir la fuga de agua del azud, como para evitar la entrada de agua hacia el interior del azud.
- Actuador **TODO-NADA** para maniobrar la compuerta.
- Factor de seguridad de 1,5.

Realizaremos un modelo 3D de la zona donde instalaremos la compuerta canal para poder diseñar la compuerta en su alojamiento.

#### • Compuerta Mural.

En la figura 4.5 podemos ver un detalle del plano del canal de donde podemos obtener las principales dimensiones del alojamiento destinado para la compuerta canal.

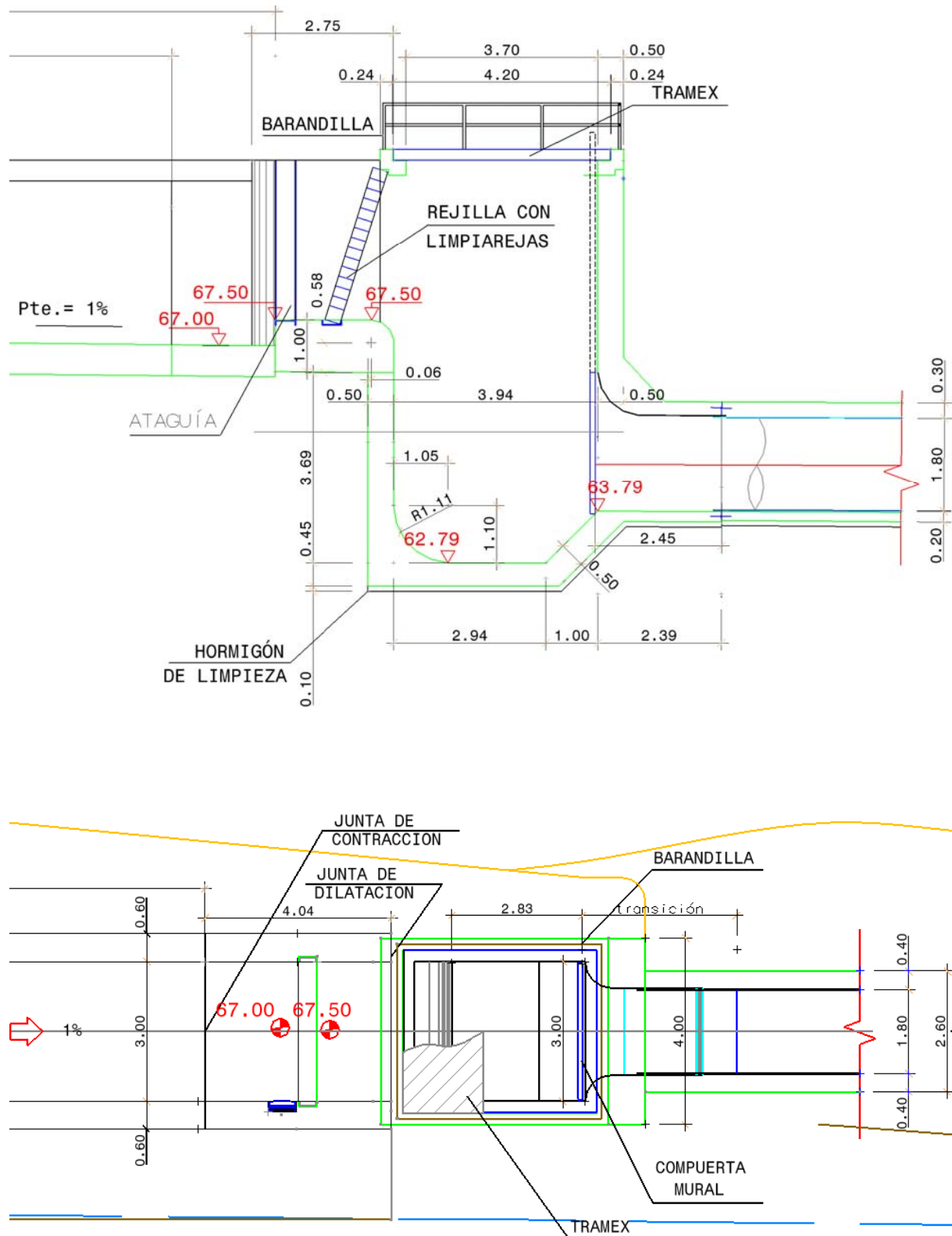


Figura 4.5. Plano de detalle de la ubicación de la compuerta mural.

Para la compuerta mural tendremos los siguientes datos de partida:

Ancho	3000 mm.	Alto	2750 mm.	Presión	6 m.c.a.
-------	----------	------	----------	---------	----------

- Estanqueidad a 4 lados en la dirección del flujo del agua entrante al embalse.
- Actuador **TODOS-NADA** para maniobrar la compuerta.
- Factor de seguridad de 1,5.

Realizaremos un modelo 3D de la zona donde instalaremos la compuerta canal para poder diseñar la compuerta en su alojamiento.

## 4.2. Normativa a cumplir.

### 4.2.1. Cálculos estructurales

Los materiales, la fabricación y los trabajos a realizar se ajustarán a las normas e instrucciones españolas e instrucciones españolas vigentes o a las de una norma o código de garantía reconocida internacionalmente.

- Instrucción de hormigón estructural , EHE-08 (editada por el MF en 1998)
- Acciones en la Edificación. NBE AE-88.

### 4.2.2. Instrucciones y normas.

Las normas y criterios utilizados en la comprobación son:

- DIN 19704: “Hydraulic Steel Structures. Criteria for Design and Calculation”.
- DIN 19705: “Hydraulic Steel Structures. Recommendation for Design , Construction and Erection”.

En particular, será de aplicación las siguientes normas y recomendaciones:

UNE. Una norma española

DIN. Deutsches Institut für Normung (Normas alemanas)

EM 62. Instituto Eduardo Torroja.

NBMV. Ministerio de obras Públicas y Urbanismo.

EHE-98.Ministerio de fomento

ASME. American Society of Mechanical Engineers.

AWS. American Welding Society.



ISO. Internacional Standarization Organization.

SIS. Swedish Industrial Standard

IEC. International Electrotechnical Commission.

### 4.2.3. Materiales

#### 4.2.3.1 Introducción.

- Los materiales a emplear en la fabricación de equipos hidromecánicos serán nuevos, libres de defectos e imperfecciones y de las características técnicas adecuadas a la función a la que serán destinados y a los procesos de fabricación a los que serán sometidos.
- En general serán válidas todas las prescripciones referentes a las condiciones que deben satisfacer los materiales y su mano de obra, especificadas en las instrucciones, Pliegos de condiciones o normas oficiales que reglamenten la recepción, manipulación y empleo de cada uno de los materiales que se utilice en las obras del Proyecto.
- En todos los materiales y piezas que se utilice en la fabricación de equipos hidromecánicos serán efectuados ensayos, de acuerdo con los procedimientos aplicables prescritos en las normas UNE, DIN o ASTM según la designación del material.
- Siempre que se solicite, las pruebas serán efectuadas en presencia del Director de Obra o de la persona en la cual delegue.
- Podrá utilizarse material acopiado, siempre que se disponga de evidencia certificada de que el material cumple con los requisitos exigidos en la norma. En caso contrario, el material acopiado será sometido a las pruebas y ensayos necesarios para determinar su calidad en conformidad con la norma.
- Los certificados de las pruebas de materiales deberán incluirse en el expediente de control de calidad de la fabricación, en el cual estará siempre a disposición del director de obra.
- Como norma general todos los productos metálicos deberán ser acompañados de certificación de inspección 3.1b según norma EN10.204 (equivalente a UNE 36.007).

Los documentos de testificación de conformidad de los materiales (designación convencional normalizada 2.1, 2.2 y 2.3 de la norma EN10.024) Solo serán aceptados si previamente se solicita la autorización del Director de Obra y sólo serán utilizadas en piezas secundarias y/o de mínima resistencia.

- Se aceptará los informes de pruebas de la acería y certificados de los productos laminados y fundidos si cumplen con los requerimientos prescritos para el tipo de certificado especificado en el apartado anterior.

- Las piezas fundidas y forjadas deben ser ensayadas en bruto a fin de localizar a tiempo los defectos y evitar demoras. La inspección magnética de partículas en piezas fundidas importantes debe abarcar toda la superficie de la pieza. Después de efectuarse un mecanizado parcial se debe efectuar otros ensayos más completos por ultrasonidos.
- Las chapas laminadas de espesor  $e > 15\text{mm}$ . serán examinadas por ultrasonidos según norma UNE 36.100, en inspección periférica 50mm. y por cuadrícula 200mm. siendo aceptable el grado A de la citada norma. Esta inspección no es requerida para aquellas chapas que sólo sean utilizadas en elementos secundarios o de mínima resistencia.
- La aceptación de un material, no será obstáculo para que sea rechazado en el futuro, si aparecen defectos en su calidad o uniformidad.
- Todo material que no cumpla las especificaciones o haya sido rechazado, será retirado de la obra inmediatamente, salvo autorización expresa del Director de Obra.
- Cualquier trabajo que se realice con materiales no ensayados o aprobados por el Director de Obra podrán ser considerados como defectuoso.
- En el proyecto de los equipos podrán ser empleadas normas equivalentes a las que se mencionan a continuación, siendo obligación del contratista justificar ante el director las razones de su utilización y la equivalencia con las normas indicadas.
- Para el proyecto de las diferentes piezas que forman los equipos se escogerán las calidades más apropiadas de las normas que se indican en este artículo.

#### 4.2.3.2 Materiales y normas.

- Los aceros en chapas y perfiles utilizados en elementos estructurales serán aceros al carbono de los tipos indicados en la norma UNE36080/85, “Aceros no aleados laminados en caliente para construcciones metálicas”  
Para las tuberías y blindajes será utilizado el acero AE-275 B y para las compuertas será preferible el acero AE-275 C (S 275 J0 según la nueva denominación UNE-EN 10.025) o bien el AE-355 C (S 355 J0 según la nueva denominación)  
El acero AE-235 B podrá ser utilizado en piezas secundarias y de tensiones de trabajo bajas.
- Los aceros para ejes y piezas de mecanismos serán de los tipos especificados en las normas:
  - UNE 36.011 “ Aceros no aleados para temple y revenido”
  - UNE 36.012 “ Aceros aleados para temple y revenido”
- Los aceros inoxidables se ajustarán a la norma UNE 36.016, “Aceros inoxidables forjados o laminados de uso general” y serán usualmente de las calidades F-3402 (X20Cr13) para vástagos y ejes y F-3503 (X2Cr19-10) para asientos y deslizamientos de sellos.

- Las piezas de fundición gris se ajustarán a la norma DIN 1699 “Hierro fundido con grafito laminar”
- Las piezas de acero moldeado se ajustarán a la norma UNE 36.252 y serán de los tipos AM-38, AM-45 y AM-52 Grados a ó b, según la responsabilidad de la pieza.
- Los bronce se ajustarán a las normas DIN 1714 “Bronces y aluminio”, DIN 705, “Bronces al estaño”. Las calidades a seleccionar estarán en función de las piezas a las que son destinadas, a las recomendaciones de las normas y a la experiencia del proyectista.
- El cromado de las piezas se ajustará a lo especificado en la norma ASTM-B 177, “Recommended practice for Chromium plating on steel for engineering use”
- La tornillería se ajustará a la norma DIN 267, “Tornillos, tuercas y piezas roscadas y de formas análogas. Condiciones de suministro”.
- Los tubos de acero para cilindros oleohidráulicos, conductores de by-pass y de vaciado, etc., se ajustarán a la norma DIN 1.629 “Tubos sin soldaduras de acero sin alear”
- Los tubos para conductos oleohidráulicos cumplirán la norma DIN 2391, “Tubos de acero de precisión sin soldadura, estirados en frío y recocidos”
- Los perfiles elastoméricos de estanqueidades serán productos moldeados de goma natural o caucho sintético, copolímero de butadieno y estireno o del tipo cloropreno (neopreno), al que deberán agregarse negro de carbono, óxido de cinc, aceleradores, antioxidantes, agentes vulcanizadores y platificantes.
- El aceite que se utilice en los mecanismos oleohidráulicos será altamente refinado para transmisiones oleodinámicas y tendrá las características especificadas en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1** Características del aceite utilizado en los mecanismos oleohidráulicos

Característica	Dato
Densidad	0,885t/m <sup>3</sup>
Viscosidad Engler a 20°C	9,4/10,5
Viscosidad Engler a 50°C	2,7/2,9
Índice de viscosidad	110/120
Punto de inflamación	180°C
Punto de congelación	-20°C

- Los materiales no especificados anteriormente y que deban ser empleados en los equipos hidromecánicos serán de calidad comprobada según las normas UNE, DIN u

otras de reconocida aceptación, fijadas en el pliego de condiciones técnicas particulares o aprobadas por el Director.

#### **4.2.4. Fabricación.**

##### **4.2.4.1 Generalidades**

- La fabricación de los equipos hidromecánicos deberá ser efectuada por personal experto en las especialidades relacionadas con la construcción de bienes de equipo de acero.
- Si durante los procesos de fabricación, de premontaje en taller o de montaje en obra se detectara defectos en las materias primas, el industrial deberá comunicarlo al contratista y someter a su aprobación el procedimiento de reparación o de sustitución de las piezas afectadas.

##### **4.2.4.2 Soldadura.**

###### ***Generalidades***

- Todas las soldaduras deberán efectuarse por el método del arco eléctrico o por un proceso que excluya el contacto del metal fundido con el aire y, siempre que sea posible, con máquina de soldadura automática.
- Todas las soldaduras en compuertas deberá ser continuas y estancas a lagua. Sólo será permitida la soldadura discontinua en los refuerzos externos hormigonados de los blindajes metálicos, si así es permitido por cálculo.
- El tamaño de las soldaduras de ángulo deberá ser de 3,5 milímetros de espesor de garganta como mínimo.
- Todas las soldaduras a tope deberán ser de penetración completa y soldadas por ambos lados. Excepcionalmente y cuando el diseño no lo permita, las soldaduras a tope podrán soldarse por un solo lado tomando las debidas precauciones para una fusión completa de los bordes más alejados.

###### ***Preparación del material base a soldar.***

- Las chapas o perfiles que deba unirse por soldadura, se cortarán en la forma y dimensiones indicadas en los planos de taller, mediante oxicorte o por medios mecánicos tales como cizalla o mecanizados.
- Los bordes de las superficies a ser soldadas deberán ser de metal sano y no deberán tener defectos visibles tales como laminaciones o defectos causados durante las operaciones de corte. Todas las entallas producidas, tanto en cortes como en la preparación de bisels, con profundidad superior a 0,5mm, se esmerilarán hasta su eliminación. También deberán de eliminarse por esmerilado las rebabas e irregularidades debidas al corte.

- Antes de iniciar la soldadura, los bordes deberán estar limpios y libres de óxido, aceite, grasa y de otros materiales y sustancias extrañas.
- La correcta verificación de los chaflanes de soldadura y separación entre bordes a ser soldados es tarea fundamental para conseguir una unión sin defectos.

#### ***Homologación y procedimientos***

- La calificación de los procedimientos para soldar, máquinas de soldadura y de los operarios soldadores deberá cumplir las normas por lo menos equivalentes a las UNE correspondientes. También podrán ser elegidos los códigos ASME, AWS e IIS.
- Antes de iniciar los trabajos de soldadura, el industrial deberá presentar actas de homologación de todos los procedimientos a ser utilizados en obra, así como de la calificación de los soldadores.

#### ***Técnica de soldadura.***

- La técnica de soldadura, la apariencia y calidad de los cordones de soldadura y los métodos empleados para corregir trabajos defectuosos deberán cumplir las especificaciones de la norma UNE u otras de reconocida solvencia internacional (código ASME, código AWS, normas I.I.S, etc)
  - Antes de iniciar los trabajos de soldadura el industrial someterá a la aprobación del contratista las normas a ser aplicadas y presentará una memoria de soldadura en donde, para cada unión o grupo de uniones similares se detallará:
    - Preparación de los bordes.
    - Posición de soldeo.
    - Procedimiento empleado y su homologación.
    - Características del metal de aportación.
    - Secuencia y número de pasadas.
    - Temperatura de precalentamiento inicial y entre pasadas, si es requerido.
    - Tratamiento térmico final, si fuese aplicado.
  - Deberá tenerse un especial cuidado en evitar mordeduras a lo largo de las soldaduras. Si se superasen los valores admitidos por las normas, se deberá proceder a su reparación por el procedimiento propuesto por el fabricante y aprobado por el director.
  - El procedimiento de soldadura deberá ser tal que evite al máximo las distorsiones de la estructura. Si estas se produjeran, el procedimiento de corrección se efectuará según especificado en las normas y será sometido a la aprobación del director de obra.
- #### ***Acabado de las soldaduras.***
- Las soldaduras deberán ser ejecutadas de modo que presenten una buena apariencia y una superficie apropiada para la pintura.



- Todas las soldaduras que requieran un examen no destructivo se prepararán de la forma especificada para la buena interpretación de los métodos de examen de soldaduras seleccionados.

#### ***Inspección de soldaduras.***

- El director de Obra procederá por sí mismo o a través del representante en que delegue, a supervisar la inspección de las soldaduras. El control de calidad del fabricante realizará esta inspección procurando, a su vez, el director interferir lo menos posible en el proceso de fabricación.
- La extensión de la inspección, los puntos a inspeccionar y los criterios de aceptación o rechazo serán los que se indica en este apartado, a no ser que se indique otra cosa en las especificaciones particulares de los equipos.
- Todas las soldaduras realizadas serán inspeccionadas visualmente al 100% de su longitud.
- Todas las soldaduras a tope y penetración total en partes principales de compuertas (chapas de forro, almas y alas de viga principales, etc.) deberán someterse a pruebas no destructivas por examen radiográfico en toda su longitud.
- Las soldaduras a tope en blindajes y tuberías serán controladas por radiografías en un 20% de su longitud y adicionalmente serán controlados por el mismo procedimiento todos los cruces, salvo que otro porcentaje se determine en el pliego de especificaciones técnicas particulares.
- Todas las uniones en ángulo se inspeccionarán mediante partículas magnéticas o líquidos penetrantes, al 100% de su longitud en los elementos principales de compuertas y mecanismos, al 20% de su longitud en refuerzos exteriores en blindajes y al 5% en uniones secundarias y de mínima resistencia.
- Las soldaduras serán evaluadas y calificadas de acuerdo con la norma UNE 14011, siendo aceptables las clasificadas como 1 y 2. El examen radiográfico podrá ser también evaluado según norma UW-52 de ASME.

#### **4.2.4.3 Tratamiento térmico.**

- Se procederá a efectuar un tratamiento térmico de eliminación de tensiones residuales en todos aquellos elementos con piezas de más de 30mm de espesor o con fuertes acumulaciones de cordones de soldadura o que hayan de ser mecanizados.
- Cuando haya que efectuarse dicho tratamiento, se tendrá en cuenta las siguientes prescripciones:
  - El horno no estará a una temperatura superior a 300<sup>0</sup>C en el momento de introducir la pieza a tratar.
  - La velocidad de aumento de temperatura no excederá del valor dado por:

$$V_c = 550 - 8,8t < 2200^\circ\text{C/h}$$

Siendo  $V_c$  la velocidad de aumento de la temperatura en grados centígrados por hora, y  $t$  el espesor de la parte más gruesa de la pieza a tratar en mm.

Una vez alcanzada la temperatura adecuada, que estará comprendida entre 600 y 650 $^\circ\text{C}$ , se mantendrá esta temperatura durante el tiempo que podemos obtener en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2** Tiempo necesario de exposición del material dependiendo del espesor.

Espesor	Duración (minutos)
$t < 6,5$	15
$6,5 < t < 50$	$2,4 \times t$
$t > 50$	$120 + 0,6 \times (t - 50)$

El enfriamiento hasta los 300 $^\circ\text{C}$  se hará en horno a una velocidad no superior dada por:

$$V_e = 650 - 10,4 \times t$$

El valor de  $V_e$  no será superior a 260 $^\circ\text{C/h}$ , ni inferior a 55 $^\circ\text{C/h}$ . Por debajo de los 300 $^\circ\text{C}$  hasta la temperatura ambiente, el enfriamiento podrá efectuarse al aire en calma y protegido de la lluvia, abriendo el horno y sacando la pieza sin acelerar el enfriamiento artificialmente.

- El fabricante deberá elaborar un “procedimiento de tratamiento térmico” para las piezas que vayan a ser sometidas al mismo, indicando las características principales de tratamiento (equipo de recocido, limpieza previa de las piezas, carga del horno, situación de termopares, parámetros de tiempos y temperaturas, normas de aplicación,...) Este procedimiento será sometido a la aprobación del director de obra. Realizado el tratamiento, se emitirá un certificado descriptivo del procedimiento efectuado y que formará parte del “Dossier de control de calidad” de la obra.

#### 4.2.4.4 Trabajos de mecanizado.

- Todas las piezas que hayan de ser mecanizadas deberán estar preparadas con suficiente sobreespesor para asegurar un acabado correcto, con el aspecto indicado en los planos.
- Todos los trabajos de mecanizado de un conjunto o subconjunto determinado deberán realizarse cuando todas las soldaduras hayan sido completadas y el equipo haya sido distensionado en el horno si fuese necesario.

- En los planos de fabricación deberá indicarse de acuerdo con la norma UNE 1037, “signos superficiales”, las zonas y las superficies que deberán ser mecanizadas así como el grado de lisura o de mecanización exigido.
- La concordancia entre el tipo de mecanizado o acabado indicado en los planos y el realmente obtenido en las superficies se verificará por medio del tacto y por inspección visual del trabajo comparándolo con los testigos estandarizados de rugosidad aplicables, o bien mediante el empleo de medidores de aspereza de superficie.
- Además de las superficies que, según los planos, deban ser mecanizadas, lo serán también todas aquellas piezas y superficies que usualmente deban mecanizarse como buena práctica de taller.
- Se prestará especial atención para asegurar que , después del mecanizado, no se produzca distorsiones que puedan afectar a la correcta alineación o funcionamiento de la piezas que se trate.

#### **4.2.4.5 Tolerancias de fabricación.**

- El industrial deberá indicar en sus planos de fabricación las tolerancias finales de los equipos terminados, Estas tolerancias deberán ser tales que permitan un ajuste adecuado para asegurar el buen funcionamiento de los equipos.
- Las tolerancias serán designadas en los planos de acuerdo con las normas aplicables, UNE, ISO o DIN.
- Es responsabilidad del industrial definir en los planos de fabricación y de montaje las tolerancias máximas admisibles para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos.

#### **4.2.5. Protección anticorrosiva.**

##### **4.2.5.1 Alcance del trabajo.**

- El industrial deberá ejecutar todos los trabajos relativos a la preparación de las superficies y aplicación de pintura en los equipos debiendo estar todos los costes incluidos en el precio de contrato.
- El industrial, con la debida antelación, deberá someter a la aprobación del contratista un programa de pintura, indicando la preparación de superficies, calidades de pintura, catálogos del fabricante de pinturas y color de acabado.
- Los equipos deberán ser pintados con el sistema de protección que fije el pliego de condiciones técnicas particulares, en función del tipo de equipo, las circunstancias del caso, u especialmente de las condiciones de agresividad del agua. Cuando este pliego no lo especifique, se aplicarán las pinturas especificadas en el artículo de control de calidad.

- El industrial, de acuerdo con su propia experiencia, podrá proponer un sistema de pintura diferente del especificado. Este sistema deberá ser explicado con detalle en la oferta y podrá ser aceptado por el contratista siempre que su calidad y su garantía de durabilidad sean iguales o superiores a las del sistema aquí especificado.

- 

#### **4.2.5.2 Preparación de superficies.**

- La limpieza por medio de chorro de arena o granalla deberá cumplir la norma sueca SIS 05900. Para el chorreado sólo se utilizará arena o sílice, corindón, granalla de acero o granalla de fundición. Las características de éstos abrasivos serán las apropiadas para conseguir el grado de preparación de superficie especificado.
- Al realizar la limpieza por chorro se deberá tomar las precauciones necesarias para evitar que los materiales abrasivos usados en el proceso de limpieza dañen los casquillos, rodamientos, superficies mecanizadas, aceros inoxidables y otras piezas de precisión.
- Las superficies a ser tratadas deberán estar limpias de aceite, gras, suciedad, salpicaduras de soldadura y otras superficies extrañas.
- La preparación de superficie no deberá ser permitida cuando la temperatura ambiente sea menor de cinco grados centígrados ( $5^{\circ}\text{C}$ ) y cuando la humedad del aire sea mayor del ochenta y cinco por ciento (85%)

#### **4.2.5.3 Sistemas de protección anticorrosiva.**

##### ***Generalidades***

- Para la aplicación de la pintura se tendrá en cuenta las instrucciones del fabricante de las pinturas. El contratista puede proponer un sistema de pintura distinto al especificado aquí, si de acuerdo con su experiencia o de las normas medioambientales existentes en el momento de la aplicación, el sistema especificado fuera mejorable.
- Si es posible, las diferentes capas de pintura de fondo y las manos posteriores serán todas de tonalidades de color distintas.
- El industrial deberá someter al contratista, para su aprobación un esquema de colores para las superficies acabadas de todos los equipos y todas las manos de pintura de acabado deberán tener los colores aprobados. Será de aplicación la norma UNE 1063 para la definición de los colores.
- No deberán de ser pintadas en taller las zonas (aprox. 50mm a los bordes) que deban ser soldadas en obra.
- Las zonas de soldadura en obra que hayan quedado sin pintar en taller y cualquier otra zona en donde se hubiese desprendido la capa de imprimación o de pintura,

serán cepilladas minuciosamente al grado St-3 y después se le aplicará la capa de imprimación y las capas de acabado.

- El industrial de acuerdo con su experiencia y en función de los equipos que serán instalados en obra, determinará cuál será la protección anticorrosiva que será ejecutada en taller, y complementará en obra el sistema aprobado.
- En los casos en que esté prevista la instalación de un sistema de protección catódica, el tipo del sistema de pintura será el adecuado a dicha instalación.

### ***Sistema de pintura.***

- Estructuras de acero en inmersión permanente en agua, tales como compuertas vagón, deslizantes y radiales de fondo, rejas, chapa de forro (aguas arriba) de compuertas de aliviadero, blindajes, superficies expuestas al agua en piezas fijas (excepto zonas inoxidables), etc.
  - Chorreado al grado Sa 2<sup>1/2</sup>
  - Una capa de imprimación epoxi rica en cinc, con un espesor de película seca de 45 micras
  - Dos a tres capas de pintura bituminosa de combinación de resina epoxi alquitrán, con un espesor total de película seca de 300 micras.
- Estructuras de acero expuestas a la atmósfera, tales como estructura resistentes, compuertas de aliviadero, etc.
  - Chorreado al grado Sa 2<sup>1/2</sup>
  - Una capa de imprimación cloro caucho pigmentada con fosfato de cinc, de 40 micras.
  - Una capa intermedia de fondo de cloro caucho de alto espesor, de 80 micras
  - Dos capas de acabado de esmalte cloro caucho (colores claros) de 30 micras de espesor por capas.
- Aceros empotrados en el hormigón.
  - Limpieza con cepillo metálico o chorreado de grado Sa 2
  - Una mano de lechada de cemento.
- Equipos eléctricos. Esquema de práctica usual por el fabricante de estos equipos, en conformidad con sus normas.

### ***Control de calidad de la pintura.***

- Antes de iniciar los trabajos de pintura, el fabricante comunicará al director de obra la empresa que los efectuará, su experiencia calificación, e instalaciones y medios de que dispone para la realización de estos trabajos.
- El industrial presentará al contratista un programa completo donde se especifique el tipo de control que se efectuará en las distintas fases de este trabajo (chorreado,

imprimación y manos de acabado) y enviará los catálogos del fabricante de pinturas que será aplicadas.

- Se efectuará el control de adherencia de las capas de pintura con el método de cuadratura de la superficie según la norma Din 53151.
- Se controlará el espesor mínimo de la capa seca de pintura estipulada en estas especificaciones y en aquellas zonas donde no se alcance este espesor deberán ser reparadas.
- Al final del periodo de garantía de los equipos, se efectuará una revisión de todas las pinturas y serán convenientemente reparadas todas las zonas dañadas.

#### **4.2.6. Control de calidad**

##### *Generalidades.*

- El industrial deberá disponer en su organización de un departamento de calidad que vigilará la correcta ejecución de los procesos de fabricación y/o supervisará la ejecución de las inspecciones y ensayos a realizar de los equipos.
- Antes de iniciar la fabricación el industrial deberá preparar un plan de control de calidad acorde con los requisitos exigidos en los códigos y normas aplicables y en estas especificaciones, el cual será sometido a la aprobación del contratista.
- El plan de control de calidad incluirá un programa de fabricación y puntos de inspección. En dicho programa el director indicará aquellas inspecciones y ensayos que desee presenciar.

##### *Control de fabricación.*

- El industrial efectuará el control de calidad de fabricación de los equipos hidromecánicos de acuerdo con el plan de control propuesto y aprobado por el contratista.
- El control de fabricación comprenderá:
  - Control de las características de los materiales que haya de emplearse en la fabricación de los equipos, mediante los certificados de calidad de todas las partidas de materiales recibidos en la fábrica.
  - Certificados de los materiales y control dimensional de los productos semielaborados suministrados por terceros.
  - Control de los trabajos en el taller de fabricación, tales como: calderería, soldadura, mecanizado y ajuste, montajes parciales, etc.
  - Control de las protecciones anticorrosivas ejecutadas en fábrica.
  - Control dimensional de los equipos una vez terminada la fabricación, para lo cual se efectuará una presentación en blanco con el fin de comprobar que todas las dimensiones finales corresponden a las dimensiones y tolerancias



indicadas en los planos aprobados. El protocolo con las dimensiones finales de todos los conjuntos constitutivos de la obra formará parte del expediente, o dossier, de control de calidad de los equipos.

### ***Pruebas en fábrica***

- Para cada equipo de este proyecto se efectuará las pruebas en fábrica que se especifiquen en el Pliego de condiciones Técnicas particulares, así como aquellas que el contratista considere necesarias para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos en obra.
- El industrial someterá a la aprobación del contratista una descripción detallada de todas las pruebas que serán realizadas en los equipos suministrados para este proyecto.

### ***Dossier final de control de calidad.***

- Independientemente de la documentación presentada durante el proceso de fabricación, el industrial estará obligado a presentar al contratista, en la forma y tiempo que éste indique, un dossier final de calidad de cada uno de los equipos.
- Este documento deberá contener los certificados de calidad de los materiales y equipos comerciales, homologaciones de los procedimientos de soldadura, resultados de los exámenes efectuados en la soldadura, controles dimensionales de subconjuntos y de equipos terminados, certificados de pruebas en fábricas y cualquier otra documentación relativa a la calidad elaborada durante el proceso de fabricación.

### ***Control de recepción.***

- Aunque la recepción de los equipos no se hará sino después de haber sido montados y montados en obra, el contratista podrá establecer controles de recepción parciales y superditados a los resultados de las pruebas finales.
- El control de recepción en la fase de fabricación en taller consistirá en la vigilancia del cumplimiento, por parte del contratista, de los controles de fabricación indicados en los apartados anteriores.
- El contratista o la persona en quien delegue, estará facultado para exigir del industrial cuanta información requiera sobre el desarrollo de los controles de fabricación, así como para hacer visitas de inspección a fábrica cuantas veces estime conveniente ya presenciar las pruebas, ensayos y verificaciones que el industrial realice, especialmente las de control dimensional y las pruebas en fábrica.

#### 4.2.7. Transporte y montaje

##### *Generalidades.*

- Todos los trabajos de embalaje, transporte, descarga, montaje, y puesta en servicio, serán ejecutados bajo la dirección y la responsabilidad del industrial, debiendo observarse, las fechas de entrega y los plazos de transporte y montaje que se señalan en los documentos contractuales.
- Todas las piezas de los suministros estarán protegidas contra daños de cualquier clase, desde su construcción en la fábrica hasta que entren en servicio en las obras. Serán reemplazados aquellos componentes que resulten dañados durante el transporte, el montaje, o las pruebas.

##### *Embalaje.*

- El industrial preparará todos los materiales para el transporte de tal modo que estén protegidos contra daños durante el mismo. Será responsable de todos los daños debidos a la preparación o manipulación incorrectas, al tratamiento inadecuado durante el transporte y reparará cualquier daño que pueda ocurrir, incluyendo la sustitución completa de las piezas dañadas.
- Antes de desarmar los equipos después de su pre-montaje en taller, todos los componentes se deberán identificar cuidadosamente con marcas y números a fin de facilitar el ensamblaje adecuado durante el montaje en la obra.
- Todos los elementos idénticos serán embalados juntos y de forma conveniente para el transporte y la manipulación. Los objetos pequeños se empacarán en cajas y los grandes se protegerán en la medida de lo necesario para no sufrir deterioro durante el transporte.
- Todos los tornillos, tuercas, arandelas, etc. se embalarán en cajas y cada caja deberá contener solamente tamaños de tornillos iguales.
- Todas las partes deben ser suficientemente protegidas contra corrosión, agua, arena e influencias atmosféricas adversas durante el transporte y el almacenamiento en la obra.
- Serán embalados de forma adecuada y en cajas de madera, separados de otras partes del suministro, los armarios eléctricos, las unidades motrices hidráulicas, y los mecanismos de accionamiento completamente ensamblados. Estos embalajes deberán diseñarse para evitar deterioros causados por polvo, humedad, calor, condiciones atmosféricas adversas y por vibraciones durante el transporte y manejo.

##### *Transporte y almacenamiento.*

- El industrial deberá encargarse de todas las operaciones de descarga y almacenamiento en el lugar de las obras. El industrial deberá tomar, a su costa, los medios necesarios para dichas operaciones.

- Todas las partes del suministro deberán ser trasladadas hasta el lugar de montaje, o a las áreas de almacenamiento, las cuales deberán acondicionarse de forma conveniente para su utilización. En caso de ser necesario habilitar algún almacén, este habrá de ser construido a prueba de las inclemencias del tiempo, con buena ventilación y piso firme diseñado para resistir las cargas de los elementos a ser depositados.

#### ***Preparaciones del montaje.***

- Antes de iniciar el montaje de los equipos, se debe inspeccionar detenidamente el lugar de las obras, las cimentaciones y otras estructuras en las cuales haya de ser instalados los componentes del equipo suministrados en virtud de este contrato. Además, se deberá verificar la conformidad de la cimentación con los planos del montaje.
- Se deberá proteger cuidadosamente todos los puntos de referencia, líneas de demarcación, clavos y otros objetos usados durante los trabajos topográficos, al tiempo que se mantendrán en buenas condiciones.
- El industrial será responsable del trazado y alineación correcta de los equipos en relación con las líneas y puntos de referencia originales, la exactitud de las posiciones, niveles, dimensiones y alineamientos de todos los componentes de las obras, así como del suministro de todos los instrumentos, materiales y la mano de obra necesaria para ello. La aprobación por parte del contratista de cualquier replanteo, cualquier línea de referencia o nivel, no eximirá de ninguna manera al industrial de su responsabilidad de la exactitud de estos puntos de referencia.

#### ***Montaje de los equipos.***

- Todo el transporte, carga y descarga de los equipos, desde el lugar de almacenamiento hasta su emplazamiento definitivo, correrá a cargo del industrial. Este deberá aportar los dispositivos de levantamiento, plataformas, andamiajes, cabestrantes y cables mecánicos, eslingas, aparejos y demás equipos y materiales auxiliares necesarios para los trabajos de montaje.
- Las estructuras y andamiajes para montaje serán convenientemente provistas de escaleras, barandillas y vallas de protección y deberán garantizar un trabajo seguro. El industrial deberá cumplir con las normas aplicables y apropiadas de seguridad mientras lleve a cabo los trabajos en la obra, cumpliendo con todos los requerimientos del contratista y el coordinador de seguridad y salud. Este cumplimiento no exonerará al industrial de su responsabilidad por la adecuada protección de las personas, equipos y materiales contra lesiones y daños que puedan resultar de sus trabajos.
- El equipo o partes a ser instaladas no deberán ser sobrecargadas durante el proceso de montaje. El industrial será responsable de asegurar que el montaje del equipo se realice correctamente según las alineaciones y niveles correctos, de conformidad con las instrucciones del fabricante y los requisitos del contrato, a satisfacción del

director de obra, de modo que cuando esté completamente montado y terminado, todo el equipo cumpla con todos los requerimientos especificados.

- El alineamiento del equipo deberá efectuarse con exactitud y debe acatarse las tolerancias indicadas por los fabricantes o reflejadas en los planos de fabricación. Las mediciones en los componentes de máquinas a ser alineados, deben efectuarse mediante instrumentos de medida de alta precisión. Después del alineamiento, las pares del equipo se fijarán mediante pasadores de fijación, pernos, etc.
- Los pernos de anclaje y otros elementos similares de equipo que se requieren para ser instalados en la primera fase de hormigón, con instrucciones y/o plantillas para instalación, deben ser entregados al contratista de las obras civiles en tiempo oportuno para evitar demoras en el trabajo.
- Todos los componentes a ser empotrados en hormigón deben ser puestos exactamente en su posición y sujetos rígidamente para evitar desplazamientos durante la colocación del hormigón. Los tornillos de ajuste y los pernos deberán ser apretados y fijados suficientemente. Las cuñas de acero deben ser inmovilizadas mediante puntos de soldadura. No se usarán cuñas u otros elementos de madera.
- El industrial colocará cuidadosamente todos los componentes a ser empotrados en el hormigón de segunda fase, antes de verter el hormigón. Todas las mediciones importantes deben ser registradas. Las copias de estos registros deben remitirse al contratista para su verificación y aprobación antes de los trabajos de hormigonado.
- El industrial será responsable de la supervisión del trabajo de hormigonado en tanto que este trabajo afecte o pueda afectar a la estabilidad, resistencia, posicionamiento, etc. de los equipos hidromecánicos. Debe indicar la velocidad de aplicación del hormigón y la secuencia para verter el hormigón en los distintos lugares. Las piezas o elementos serán dimensionados para que la velocidad de colocación del hormigón exigida resulte razonable a juicio del contratista.
- Cualquier error en las obras de taller que impida el montaje correcto y el ajuste de las piezas, debe ser comunicado inmediatamente al contratista, y debe obtenerse la aprobación para el método o proceso de corrección.
- El industrial proveerá todos los anclajes y puntales necesarios para asegurar la alineación y estabilidad de las piezas a ser instaladas hasta que queden conectadas debidamente. Todos los anclajes y puntales provisionales deben aguantar toda la carga muerta, la carga debida al viento, y los esfuerzos de montaje, p.e. durante el hormigonado y deben quedar en su lugar durante el tiempo necesario a criterio del contratista.
- El industrial solamente podrá llevar a cabo trabajo de soldadura, corte por soplete y agujereado en el equipo a ser instalado cuando disponga de la autorización expresa del contratista. En caso en que elementos para suspensión y agarre sean adheridos durante el montaje a partes de equipo, estos deberán ser eliminados una vez completado el trabajo y se reparará la superficie eliminado el material de soldadura y corrigiendo cualquier defecto.

- Se deberá evitar o eliminar cualquier oxidación o depósito de materias extrañas producidas durante el almacenaje, transporte o después del montaje sobre cualquier superficie pintada.
- Las partes de vidrio u otras partes que puedan dañarse fácilmente, serán protegidas durante el montaje.
- Las superficies mecanizadas o brillantes, de partes que no reciban capas de pintura, serán protegidas durante el almacenaje por una película anticorrosiva adecuada.
- Las herramientas especiales que se provea para mantenimiento y reparaciones, podrán ser utilizadas para el montaje. Las mismas deberán ser entregadas al final del montaje por el industrial en buenas condiciones, de acuerdo con las instrucciones del contratista.
- Después del montaje se llevará a cabo el pintado final in situ, en donde corresponda de acuerdo con las especificaciones de pintura y toda pintura dañada será restaurada.

#### **4.2.8. Pruebas en obra.**

- Cuando el montaje de los equipos hidromecánicos haya finalizado, se procederá a realizar los controles y pruebas necesarios para verificar el correcto montaje de los equipos y el cumplimiento de las características establecidas en el proyecto aprobado.
- Las pruebas serán realizadas tanto en seco como con carga de agua.
- Con anterioridad a la finalización del montaje, el industrial someterá a la aprobación del ingeniero directo un plan de verificaciones y pruebas, en seco y con carga de agua, de los diferentes equipos del proyecto aprobado
- Las verificaciones y pruebas en seco serán al menos las siguientes:
  - Verificación dimensional de las piezas empotradas y en los equipos móviles.
  - Verificación dimensional de holguras entre las partes empotradas y los equipos móviles.
  - Comprobación del buen funcionamiento de cada una de las compuertas y ataguías en sus movimientos de apertura y cierre.
  - Comprobación del correcto funcionamiento de los finales de carrera e indicadores de posición.
  - Medición de las velocidades de apertura y cierre de los equipos.
  - Verificación de las revoluciones de los motores, potencia absorbida, calentamiento, etc.
- Las pruebas con carga de agua deberán comprender, como mínimo lo siguiente:
  - Verificación de filtraciones en compuertas y ataguías.

- Comprobación del correcto funcionamiento de cada uno de los equipos en sus movimientos de apertura y cierre.
- Medición de las velocidades de apertura y cierre y tiempos de maniobra.
- Verificación de las revoluciones de los motores, potencia absorbida, calentamiento, etc.
- Para los tableros de ataguías: verificación de la seguridad de maniobra con las vigas de izamiento.
- Verificación de apertura y cierre de los by-pass incorporados a los tableros de ataguías o compuertas en su caso.
- El contratista podrá establecer que las pruebas con carga de agua hayan de realizarse en dos fases: una durante el primer llenado del embalse, con carga de agua reducida y posteriormente, una segunda fase con el 100% de la carga u otro porcentaje que se determine. Si las pruebas iniciales resultan positivas, se extenderá el acta de recepción provisional.

### 4.3. Hipótesis de carga.

#### 4.3.1 Generalidades

- Cada equipo hidromecánico deberá proyectarse para cumplir los requisitos estructurales especificados, cuando estén sometidos a las condiciones de carga que se indican posteriormente.
- El proyectista puede limitar sus cálculos o casos críticos de carga si ellos son evidentes. Si la elección de las condiciones críticas no es evidente el proyectista deberá aportar demostración técnica para justificar su elección.
- La magnitud de las solicitaciones deberá calcularse de acuerdo con lo que se indique en los apartados correspondientes, o bien de acuerdo con la experiencia justificada del fabricante en lo no especificado.
- Se tomará el valor máximo o el mínimo de los coeficientes de rozamiento, indicados en el apartado magnitud de las solicitaciones, de forma que el resultado quede afectado de la manera más desfavorable, con el fin de proporcionar al equipo un mayor coeficiente de seguridad.

#### 4.3.2 Hipótesis de carga normal.

Se considera como hipótesis de carga normal la combinación posible más desfavorable de las cargas producidas por:

- Peso propio de los equipos.
- Presiones hidrostáticas que puedan derivarse de las diferencias de niveles más desfavorables, con el nivel normal máximo aguas arriba y el mínimo aguas abajo.



- Esfuerzos hidrodinámicos en el sector de niveles antes citado.
- Máximos esfuerzos de rozamiento en las condiciones normales de funcionamiento de los equipos.
- Variaciones de temperatura.
- Acción del viento

#### **4.3.3 Hipótesis de carga extraordinaria.**

- Se consideran casos de extraordinarios de cargas las combinaciones posibles de las cargas indicadas en el apartado anterior pero teniendo en cuenta el nivel máximo excepcional del embalse.
- Deben estudiarse también, como casos extraordinarios aquellas cargas que se puedan presentar en raras ocasiones, tales como las originadas por la eventual formación de hielo (si ello fuera posible), cargas inducidas por movimientos sísmicos, cargas producidas durante la reparación de los equipos, etc.

#### **4.3.4 Hipótesis de carga excepcional.**

- Se consideran casos de carga excepcional los que puedan motivarse durante la fabricación, el transporte y montaje de los equipos.
- Dentro de este punto deben estudiarse también aquellos esfuerzos de carácter excepcional que pudiesen originarse durante el funcionamiento de los equipos y los que como tales se determinen en el PTP.

### **4.4. Magnitudes de las solicitaciones.**

#### **4.4.1 Peso propio.**

El peso propio de un elemento cuyas dimensiones vayan a determinarse en el cálculo, se podrá estimar inicialmente utilizando datos de estructuras construidas de características semejantes. Con las dimensiones calculadas se determinará el peso propio real considerando, para todas las piezas de acero, un peso específico de  $7,85 \text{ t/m}^3$ , y se rectificarán, si fuera preciso, los cálculos basados en la estimación.

#### **4.4.2 Presión de agua.**

El peso específico para el cálculo de los empujes hidrostáticos será considerado de  $1 \text{ t/m}^3$ , para agua dulce.

### 4.4.3 Coeficiente de rozamiento.

Para el cálculo de las fuerzas que se oponen al deslizamiento deberán tomarse los coeficientes de rozamiento que a continuación se indican, salvo especificación diferente en el PTP. La elección del valor máximo o mínimo deberá efectuarse de tal forma que el resultado quede afectado de la manera más desfavorable, con el fin de proporcionar al equipo un mayor factor de seguridad.

- a) Coeficiente de rozamiento en los dispositivos de estanqueidad (en contacto con el agua y sin lubricación).

**Tabla 4.3** *Coeficiente de rozamiento en dispositivos de estanqueidad en contacto con el agua y sin lubricación.*

MATERIALES	MAXIMO	MINIMO
Goma sobre acero	1,00	0,30
Goma sobre acero inoxidable	0,80	0,20
Fluorocarburo sobre acero inoxidable	0,15	0,05
Bronce sobre acero inoxidable	0,45	0,15

- b) Coeficiente de rozamiento en elementos deslizantes diversos (casquillos sobre ejes, muñones de giro, zapatas de guía, etc.)

**Tabla 4.4** *Coeficiente de rozamiento del acero inoxidable sobre acero al carbono.*

MATERIAL	MAXIMO	MINIMO
Acero inoxidable sobre acero al carbono		
Sin lubricación	0,50	0,10
Con lubricación	0,25	0,08

**Tabla 4.5** *Coeficiente de rozamiento del bronce sobre acero inoxidable.*

MATERIAL	MAXIMO	MINIMO
Bronce sobre Acero inoxidable		
Sin lubricación	0,40	0,10
Con lubricación	0,20	0,07

#### 4.4.4 Coeficiente de resistencia a la rodadura.

Se aplicará la fórmula clásica:

$$F = \frac{Q}{R} (\mu_1 + \mu_2 \cdot r) \cos \alpha$$

Donde:

F = fuerza que se opone a la rodadura.

Q = fuerza transmitida por la compuerta sobre la rueda o rodillo.

R = radio exterior de la rueda o rodillo.

r = radio del rodamiento o casquillo.

$\mu_1$  = coeficiente de rodadura rueda – carril.

$\mu_2$  = coeficiente de rodadura rodamiento – eje.

$\alpha$  = ángulo que forma la fuerza Q con la dirección del movimiento.

Los valores de los coeficientes de rodadura  $\mu_1$  y  $\mu_2$  a considerar son:

$\mu_1 = 0,10$  cm

$\mu_2 = 0,010$  cm en las ruedas montadas sobre rodamientos.

$\mu_2 = 0,20$  cm en las ruedas montadas en casquillos de bronce, y referido al radio interior del casquillo.

#### 4.4.5 Fuerza de compresión en el elemento de estanqueidad interior.

La fuerza de compresión requerida para el asiento del dispositivo de impermeabilización inferior de una compuerta o ataguía será calculada utilizando la siguiente fórmula:

$$F = 0,125 \cdot S^{1,5} \cdot C^{1,28} \cdot B \cdot L$$

Donde:

F = Fuerza de compresión en Kp.

S = dureza de la goma, en grados Shore.

C = magnitud de la compresión de la goma, en mm.

B = espesor de la goma inferior, en cm.

L = longitud de la goma inferior, en m.

Esta fórmula empírica sólo será utilizada en los cálculos de seguridad de cierre en compuertas y ataguías.

#### 4.4.6 Acciones sísmicas.

En lo que atañe a las acciones sísmicas, el territorio nacional queda dividido en tres zonas de baja, media y alta sismicidad. El efecto sísmico deberá calcularse aplicando la Norma de construcción sismoresistente NCSE-94.

#### 4.4.7 Acción del viento.

La carga nominal del viento será la indicada en el PTP, como mínimo será de  $50\text{Kp/m}^2$ , siempre que en casos especiales no se indique otros valores en el PTP.

### 4.5. Tensiones admisibles

#### 4.5.1 Tensiones admisibles en los elementos estructurales de acero.

- Las tensiones admisibles para el acero estructural bajo condiciones normales de carga no deberán ser mayores que los siguientes porcentajes del límite mínimo garantizado del acero utilizado:

**Tabla 4.6** Porcentajes máximos recomendados de Tensiones admisibles para el acero

<b>Compresión y compresión de flexión, si se requiriese comprobación de pandeo</b>	<b>60%</b>
<b>Tracción, tracción de flexión y compresión de flexión si no se requiriese comprobación de pandeo</b>	<b>66%</b>
<b>Esfuerzo cortante</b>	<b>40%</b>
<b>Presión de apoyo en áreas de contacto de superficies mecanizadas</b>	<b>80%</b>

- Alternativamente, y para los aceros allí reseñados, podrán utilizarse las tensiones admisibles indicadas en la norma DIN 19704.
- En condiciones de carga extraordinaria las tensiones admisibles indicadas para las condiciones de carga normal podrán aumentarse en un 12%.
- En condiciones de carga excepcional las tensiones admisibles, establecidas para las condiciones normales de carga, podrán aumentarse en un 33%, pero en todo caso las presiones de soporte no deberán exceder del 90% del límite elástico del material.

- Como excepción al punto anterior y de acuerdo con la norma DIN 19704, la tensión de comparación en la chapa del forro de las compuertas no deberá ser superior al 87% del límite elástico mínimo garantizado del acero para la hipótesis de carga normal. Para las condiciones de carga excepcional la tensión de comparación en el forro no deberá sobrepasar el 92% del límite elástico del material.

#### 4.5.2 Tensiones admisibles en el hormigón.

- Las piezas fijas a ser empotradas en el hormigón, y los espacios para el empotramiento deberán ser proyectados considerando las tensiones de cortadura y presiones de contacto resultantes sobre el hormigón.
- Las tensiones de cortadura máximas admisibles, en todas las hipótesis de carga, no deberán ser superiores a  $6\text{kp/m}^2$ , salvo que otro valor se especifique en el PTP.
- Las tensiones máximas de compresión, en todas las hipótesis de carga, no deberán ser superiores a 9 MPa. ( $92\text{kp/m}^2$ ), salvo que otro valor se especifique en el PTP.

#### 4.5.3 Otros criterios del proyecto.

- La estabilidad de los equipos hidromecánicos será verificada aplicando los criterios de la norma DIN 4114.
- La esbeltez mecánica – relación entre la longitud de la pieza y el radio de giro, que es, a su vez, la relación entre el momento de inercia y el área de la sección transversal de los elementos utilizados en las construcción de los equipos será limitada a los valores que vemos en la tabla 4.7.:

**Tabla 4.7** limitación de la esbeltez mecánica de los equipos a utilizar.

Piezas sometidas a	Elementos principales	Elementos secundarios
Compresión	120	150
Tracción	200	240

En todos los tableros deberá verificarse su deflexión bajo condiciones de carga de máximo nivel de embalse. Esta deflexión deberá limitarse a aquellos valores que aseguren una adecuada seguridad de operación y estanqueidad.

#### 4.5.4 Espesores mínimos.

Los espesores mínimos de chapa de acero y perfiles que deberán ser respetados en todos los proyectos de equipos hidromecánicos los podemos ver en la tabla 4.8.

**Tabla 4.8** *Espesores mínimos de de chapa de acero y perfiles*

Tipo de chapa	Espesor
Chapas de acero estructural en contacto con el agua	8 mm
Chapas y perfiles de refuerzo en zonas empotradas en hormigón de 2ª fase	6 mm
Chapas de acero inoxidable para apoyo de juntas de estanqueidad	4 mm

#### 4.5.5 Fuerzas de accionamiento.

- La determinación correcta de las fuerzas necesarias para el accionamiento de compuertas y ataguías y tiene una importancia capital en el proyecto de los equipos. El proyectista deberá calcular estas fuerzas teniendo en cuenta todas las sollicitaciones que actúan sobre el tablero u obturador del equipo y los esfuerzos que se oponen o favorecen su movimiento, en las condiciones de servicio más favorables.
- La capacidad nominal de los mecanismos, de apertura y cierre, deberá fijarse con razonable margen de seguridad sobre el valor que resulta del cálculo como fuerza necesaria para el accionamiento, aplicados los coeficientes correctores, indicados en los puntos siguientes, de mayoración de los esfuerzos que se oponen al movimiento del tablero u obturador y de minoración de los que los favorecen.
- Los criterios específicos para la determinación de la capacidad nominal de los mecanismos de accionamiento de los diversos equipo hidromecánicos, serán especificados en los puntos siguientes, o en su caso en el PTP.

#### 4.5.6 Ranuras.

Las ranuras donde se alojan los tableros de las compuertas planas deberán diseñarse de modo que produzcan la menor perturbación de flujo y no sean la causa de cavitaciones intolerables. Por tanto, serán lo más estrechas posibles, con su esquina de aguas arriba viva y la de aguas abajo achaflanada o redondeada.

#### 4.5.7 Piezas fijas

Las piezas fijas, empotradas en el hormigón, tanto en laterales como en umbral y, en su caso, en el dintel de los vanos de las compuertas deberán tener suficiente rigidez para que no se deformen ni en el transporte y montaje, ni estando en servicio; estarán bien ancladas en el hormigón de primera fase, con pernos regulables que permitan ajustar exactamente la



posición de la pieza fija previamente al hormigonado de segunda fase; los planos de asiento y/o deslizamiento de los perfiles elastoméricos de estanqueidad serán de acero inoxidable.

#### **4.5.8 Borde inferior de los tableros.**

El borde inferior de los tableros de compuertas deberá diseñarse cuidadosamente de modo que el despegue de la lámina saliente se produzca en una misma generatriz horizontal para cualquier grado de apertura; y no deberá presentar obstáculo alguno, incluidos los dispositivos de estanquidad, en el espacio limitado por un diedro teórico de 35° como mínimo, mejor 45°, cuyo vértice coincida con la arista aguas debajo de dicho borde y su cara inferior sea tangente al plano de asiento del tablero.

#### **4.5.9 Dispositivos de estanqueidad.**

- El proyectista deberá adoptar los dispositivos de estanqueidad en el umbral, laterales y dintel, en su caso, que sean de diseño apropiado a las características de la compuerta. Elegirá tipos de estanqueidad sancionados por la práctica.
- La estanqueidad de las compuertas cumplirán con las exigencias de la normativa:
  - DIN 19569-4, clase 5 de fuga: 0,02 L/seg. por metro de perímetro de asiento.
  - AWWA C561-04, sección 5 de fuga: 1,24 L/min. por perímetro de asiento.
- Los dispositivos de estanqueidad deberán cumplir, entre otras cosas, las siguientes condiciones:
  - Ser de sencillo diseño y fabricados con materiales de alta calidad.
  - Ser revisables y siempre que sea posible reemplazables.
  - Los perfiles elastoméricos, de caucho o goma, deben disponerse de forma que aumente la estanqueidad del sistema con la presión del agua actuando sobre ellos.
  - No deben de entorpecer el paso del agua.
  - Deben estar exentos del riesgo de ser arrancados por la corriente de agua o por el roce con los elementos metálicos: piezas fijas y tableros de compuerta.

#### **4.5.10 Aireación de compuertas.**

- Generalidades
  - EL proyectista deberá prestar especial atención a los problemas de aireación de las tuberías de carga y de la lámina o chorro en las compuertas, con el fin de evitar depresiones que puedan colapsar a la conducción o producir vibraciones, cavitación o golpes de ariete.
  - Los sistemas de aireación se agrupan básicamente en las dos siguientes categorías:
    - A. Sistemas de aireación destinados a proporcionar un suministro continuo de aire a una compuerta.
    - B. Sistemas de aireación para dar entrada o salida de aire durante el vaciado o llenado de la tubería, respectivamente.

- En el presente punto solamente se trata la categoría A definida en el párrafo anterior
  - La toma de aire, los conductos principales, sus ramificaciones y orificios de salida deberán diseñarse y dimensionarse de modo que en ellos no se produzcan vibraciones de efectos nocivos y que proporcionen el suficiente caudal de aire adecuadamente distribuido en las zonas de depresión o escasa presión del flujo de agua.
  - El caudal de aire necesario será determinado con criterios y métodos sancionados por la práctica, apropiados a las circunstancias de cada caso particular, según sea el tipo de compuerta y las condiciones de descarga de ésta
  - Las tomas de aire deberán situarse en puntos donde no pueda ocurrir la entrada de agua en el sistema de aireación; estarán protegidas con rejillas que impidan la succión de personas, animales u objetos.
  - Cuando la aireación se realice por medio de ventosas éstas deberán situarse de forma que una eventual proyección de agua sobre la ventosa no perjudique los equipos o elementos próximos.
  - La ubicación y disposición de los conductos principales de aireación deberá figurar en los planos del proyecto de la obra hidráulica. El dimensionamiento definitivo de los conductos así como los planos de detalle de éstos y de los dispositivos de distribución del aire, serán realizados por el proyectista de los equipos hidromecánicos.
- Métodos de cálculo.
    - El caudal de aire o demanda de aire requerida proviene de dos factores: el efecto de succión o de bomba de flujo de agua y la del aire arrastrado o atrapado en el propio flujo. La demanda total de aire determina la caída de presión, respecto de la atmosférica, en función de las características geométricas y de rugosidad de los conductos de aireación
    - En lo sucesivo se utiliza la siguiente notación:
$$Q_a = \text{Demanda de aire, en m}^3/\text{s}.$$
$$Q_w = \text{caudal de agua, evacuado por la compuerta en m}^3/\text{s}.$$
$$\beta = \frac{Q_a}{Q_w}$$
$$F = \text{Número de Froude del flujo en la zona más contraída del chorro, o de la lámina de agua en el caso de salida libre, o en la zona de vena líquida contraída en el caso de formarse un resalto hidráulico en la descarga.}$$
    - El U.S. Bureau of reclamation propone la utilización de la fórmula de Kalinske y Robertson para los casos de formación de resalto hidráulico, cuya expresión es :
$$\beta = 0,0066 (F-1)^{1,4}$$

- El U.S Army Corps of Engineers para los casos de descarga libre sin formación de resalto hidráulico en las compuertas rectangulares propone la siguiente fórmula:

$$\beta = 0,03 (F-1)^{1,06}$$

- De los ensayos en modelo reducido en laboratorio y su comparación con las mediciones efectuadas en prototipos, se han deducido, especialmente por H.R. Sharma, las fórmulas y curvas empíricas que se indican en los párrafos siguientes.

- Se consideran los seis casos o tipos de flujo siguientes:

A. Casos de descarga sin formación de resalto hidráulico:

- a. Flujo pulverizado. Aparece generalmente con pequeñas aperturas, inferiores al 10%; el chorro pasa bajo la compuerta, pulverizando en numerosas gotas pequeñas, y ocluye una gran cantidad de aire.
- b. Flujo a lámina libre. Depende de la reacción entre el flujo de aire y el flujo de agua; esto puede ocurrir en forma de flujo con olas, flujo sinuoso o flujo estratificado.
- c. Flujo emulsionado. La conducción se llena con una mezcla casi uniforme de aire y agua, pero no fluye a presión.

B. Casos de descarga con formación de resalto hidráulico:

- d. Resalto hidráulico seguido a lámina libre.
  - e. Resalto hidráulico seguido de flujo a presión.
  - f. Flujo de agua en carga. Se forma un resalto hidráulico sumergido; el flujo se mantiene a presión a través de la válvula o compuerta en toda la zona de salida.
- La formación de los diferentes tipos de flujo depende de las características geométricas de las conducciones del desagüe y del grado de apertura de la compuerta.
  - Según H.R. Saharma, 1979, la demanda de aire puede ser estimada con la ayuda de las siguientes fórmulas:

- a) Para los casos de formación de resalto:  $\beta = 0,0066 (F-1)^{1,4}$
- b) Para los casos de descarga libre:  $\beta = 0,2 F$
- c) Para los casos de descarga a lámina libre plena:  $\beta = 0,09 F$

- La determinación del valor de  $\beta$  más conveniente deberá hacerse teniendo en cuenta las diversas situaciones del régimen hidráulico, correspondiente a las posibles situaciones de carga de agua, posiciones de apertura de la compuerta, rapidez de maniobra y duración de los regímenes más o menos perjudiciales, según sean las condiciones de servicio previstas.
- Fijado el caudal de aire que va a demandar el equipo hidráulico, se dimensionarán los conductos de aireación de modo que la depresión máxima no exceda de un metro y medio de columna de agua (1,5 m.c.a.), limitando la

velocidad del aire, para evitar pérdidas de carga excesivas y remolinos de aire en los codos y cambios de dirección o de sección que pudieran propagarse hasta la compuerta produciéndose vibraciones. Es aconsejable que la velocidad del aire no supere los cuarenta y cinco metros por segundo (45m/s); en el caso de que el proyectista adoptase velocidades del aire más altas, hasta noventa metros por segundo (90m/s) como máximo absoluto, deberá justificarlo, habiendo calculado con precisión las pérdidas de carga y las depresiones en los conductos de aireación.

- La expresión que relaciona el caudal de aire con la depresión existente es:

$$P=K \cdot \psi_a \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

P = máxima depresión en kp/m<sup>2</sup>

K = coeficiente de pérdida de carga.

$\psi_a$  = peso específico del aire 1,28 kp/m<sup>3</sup> a 15°C.

V = velocidad del aire en el tubo en m/s.

$$K= C_i + f \cdot \frac{L}{D}$$

Siendo:

$C_i$  = coeficiente de pérdidas de caras localizadas.

F = coeficiente de rozamiento (en chapa 0,024)

L = longitud del tubo de aireación.

D = diámetro del tubo de aireación.

# Capítulo 5

## Metodología y planificación

Para definir la metodología y su planificación, debemos conocer las especificaciones del sistema definidas en el capítulo anterior. Dada la gran extensión de las especificaciones del sistema, hemos preferido desarrollar la metodología y su planificación en un capítulo aparte.

### 5.1. Metodología.

Vamos a ver los diferentes pasos que se llevarán a cabo desde que se comienza a trabajar en el proyecto del diseño de un conjunto de regulación hídrico de dos compuertas según lo requerido en una especificación, hasta que se concluye con su completa instalación en el canal de derivación que permita transportar los excedentes hídricos del cauce de un río hasta el embalse de regulación. Indicaremos en cada fase del proyecto, los trabajos que son de nuestra competencia dentro del proyecto y cuales son ejecutados por el cliente.

#### 5.1.1. Oferta.

Esta fase comenzará con la recepción de la información necesaria de los requerimientos solicitados por el cliente.

En nuestro caso se nos solicita el diseño, fabricación, suministro y montaje de un conjunto de regulación hídrico de dos compuertas.

Nuestro proyecto se centra en el diseño de dicho conjunto. La fabricación, suministro y montaje, lo subcontrataremos a una empresa .

Una vez aceptada la oferta por el cliente se comenzará con el diseño de las compuertas ofertadas.

### **5.1.2. Especificaciones del cliente**

El diseño final para ese conjunto debe incluir dos compuertas vagón, cada una diseñada para cumplir con los requisitos del cliente:

Canal:

- Diseñada para un alojamiento definido en las especificaciones del cliente.
- Estanqueidad en el fondo y cierres laterales en las dos direcciones.
- Con maniobrabilidad todo o nada.
- Presión máxima de trabajo de 2,7 m.c.a.
- Factor de seguridad superior a 1,5.

Mural:

- Diseñada para un alojamiento definido en las especificaciones del cliente.
- Estanqueidad a 4 lados en una dirección establecida.
- Con maniobrabilidad todo o nada.
- Presión máxima de trabajo de 6 m.c.a.
- Factor de seguridad superior a 1,5.

Con este proyecto se conseguiría ofrecer al cliente una solución tipo “llave en mano” en la cual al concluir la instalación del conjunto de compuertas, éstas estarán listas para cumplir con sus requerimientos normativos y funcionales dentro del azud de derivación.

### **5.1.3. Diseño de las compuertas.**

El diseño de las compuertas lo dividiremos en las siguientes fases:

- Revisión de los datos de partida. Analizaremos a fondo los datos de partida suministrados por el cliente para planificar correctamente el diseño.
- Diseño de las placas: Estas son necesarias para definir la posición de los hierros fijos. Se avanzará en el diseño de las compuertas para poder definir los planos de placas. Este diseño de las placas deberá ser aceptado por el cliente ya que estas placas, una vez fabricadas, se colocarán en el azud acorde a los planos y será el cliente quien realizará un hormigonado de primera fase.
- Diseño de las compuertas. Una vez aceptado por el cliente los planos de placas y su ubicación. Se avanzará con el diseño de los hierros fijos y los tableros.
- Cálculo: trabajará en concurrencia con diseño durante todas las fases anteriores para dimensionar y diseñar todos los componentes de las compuertas. Se establecerá un factor de seguridad de 1,5 para el diseño del conjunto de regulación hídrico.



- Fabricación: Una vez cerrados los diseños y según nuestros requerimientos se irán fabricando las diferentes partes que componen las compuertas.
- Calidad: se encargará de verificar que todo lo fabricado cumple con los requerimientos anteriormente definidos.

#### **5.1.4. Fabricación de las compuertas.**

Esta fase se solapará con las de diseño y Montaje.

#### **5.1.5. Montaje**

El montaje lo podemos dividir en las siguientes partes:

##### **5.1.4.1. Hormigonado de primera fase:**

Una vez definidas y fabricadas las placas, el cliente realizará un hormigonado de primera fase para que queden integradas en el azud. La ubicación de las placas quedará totalmente definida en los planos de instalación.

##### **5.1.4.2. Hormigonado de segunda fase.**

Después del hormigonado de primera fase y una vez fabricados los hierros fijos, se puede proceder al hormigonado de segunda fase. Para ello deberemos situar los hierros fijos en las placas definidas y fijadas en la primera fase. Antes de realizar el hormigonado de segunda fase es imprescindible realizar un ajuste para tener los hierros fijos dentro de las dimensiones requeridas en planos.

Instalación de las compuertas y reglaje: se procederá a la instalación de los tableros de la compuerta canal y mural, así como de los actuadores. Se probará que el equipo funcione según los requerimientos.

#### **5.1.6. Verificación**

Durante todo el proceso de fabricación se comprobará que :

- Los materiales utilizados son los correspondientes a las especificaciones.
- Todas las partes han sido fabricadas y montadas acordes con las dimensiones y requerimientos de los planos. Para ellos se crearán unas listas de comprobación para cada conjunto que será cumplimentada por el fabricante.

Una vez terminadas todas las instalaciones se verificará que las compuertas cumplen con los requisitos de funcionalidad necesarios.

### **5.2. Planificación**

La planificación de nuestro proyecto comenzará con la aceptación de la oferta por parte del cliente, esta será nuestra fecha de inicio del proyecto.

Tendremos dos hitos importantes a mitad del proyecto:

- El **PDR (Preliminary Design Review)** por parte del cliente. En ese momento, nuestro diseño deberá tener la suficiente madurez como para que el cliente lo acepte como válido ya que cumple con sus requisitos.
- **Aprobación de planos de placas:** va junto con el PDR y es importante porque una vez aprobados dichos planos, se puede comenzar con el hormigonado de primera fase. En esa fase del proyecto quedarán ya fijadas las placas en donde nosotros, antes del hormigonado de segunda fase, deberemos instalar los hierros fijos.

Estos dos puntos son importantes ya que una vez aceptados, ya quedará nuestro diseño casi cerrado para su siguiente implementación.












Entre la aceptación de la oferta y el PDR y la aprobación de planos de placas, tenemos las siguientes tareas:

- Revisión de datos de partida: se analizarán los datos de partida proporcionados por el cliente, para comentar con el diseño.
- Diseño (planos de Placas): aquí se realizarán los planos de placas además de ir avanzando con el diseño de ambas compuertas. Estas placas serán la base de nuestro diseño ya que es donde situaremos los hierros fijos.
- Cálculo de compuertas: aquí iremos viendo el dimensionado necesario para las compuertas, información esencial para un buen diseño.

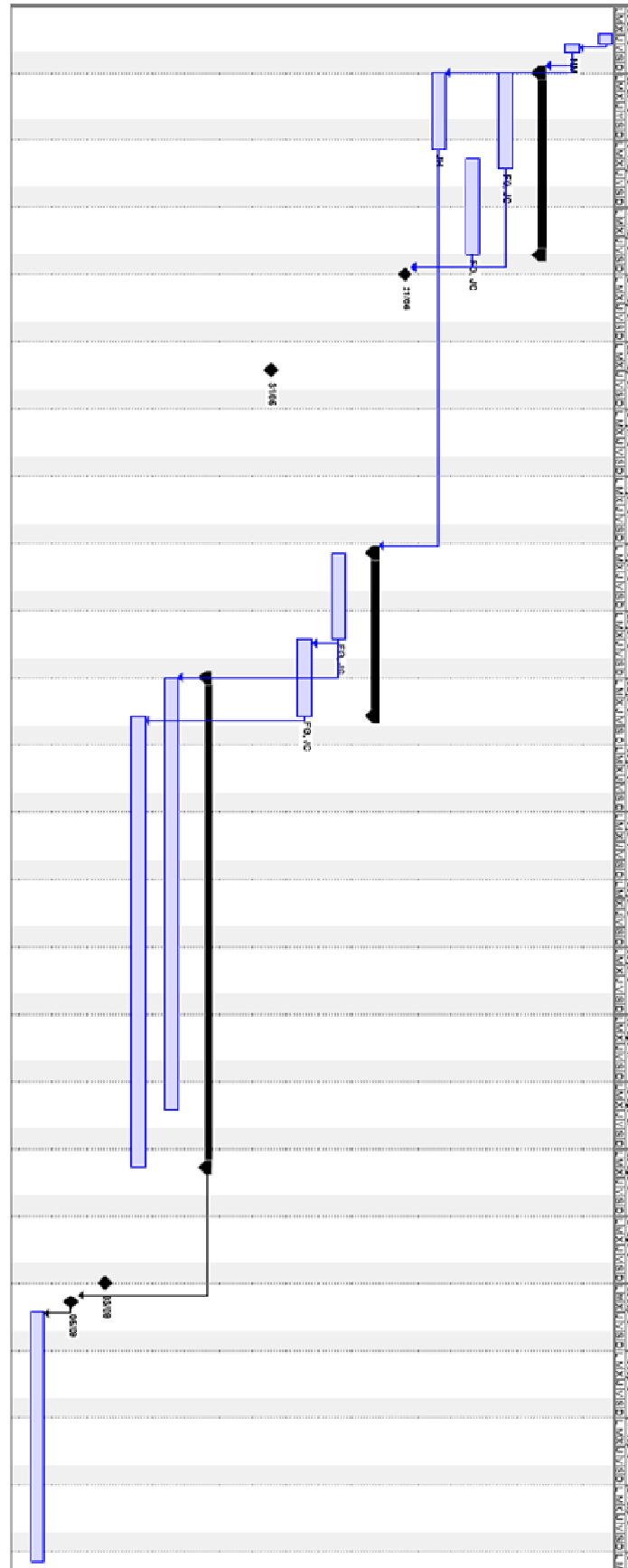
Una vez cerrado todo el diseño le seguirán las siguientes tareas:

- Diseño (planos de detalle): donde realizaremos los planos de las compuertas para su fabricación, ensamblaje e instalación en obra.
- Una vez acabado con los planos de detalle, se iniciará la tarea de fabricación de las compuertas.
- Concluida su fabricación se llevará a cabo la entrega en obra.
- Seguidamente se realizará el montaje de las compuertas.
- Por último antes de la recepción última del cliente de las compuertas instaladas, se llevaremos a cabo una verificación.

Todas estas tareas deberán ser realizadas antes del hito de entrega final al cliente.

Id		Nombre de tarea	Duración	Fin	Predecesoras	Comienzo
1		ACEPTACION DE OFERTA	1 día	jue 26/04/07		jue 26/04/07
2		REVISION DATOS DE PARTIDA	1 día	vie 27/04/07	1	vie 27/04/07
3		DISEÑO (Planos de Placas)	15 días	vie 18/05/07	2	lun 30/04/07
4		Mural 3000x2700	8 días	mié 09/05/07		lun 30/04/07
5		Canal 600x2700	8 días	vie 18/05/07		mié 09/05/07
6		CALCULO COMPUERTAS	6 días	lun 07/05/07	2	lun 30/04/07
7		PDR (CLIENTE)	1 día	lun 21/05/07	4;5	lun 21/05/07
8		DISEÑO (Planos de Detalle)	13 días?	jue 05/07/07	6	mar 19/06/07
9		Mural 3000x2700	7 días?	mié 27/06/07		mar 19/06/07
10		Canal 600x2700	6 días?	jue 05/07/07	9	jue 28/06/07
11		APROBACIÓN PLANOS DE PLACAS	1 día	jue 31/05/07		jue 31/05/07
12						
13		FABRICACION	37 días?	mar 21/08/07		lun 02/07/07
14		1 Mural 3000x2700	33 días?	mié 15/08/07	9	lun 02/07/07
15		1 Canal 600x2700	33 días?	mar 21/08/07	10	vie 06/07/07
16		PRUEBA HIDRAULICA	1 día?	lun 03/09/07		lun 03/09/07
17		ENTREGA EN OBRA	1 día?	mié 05/09/07	13	mié 05/09/07
18		MONTAJE	18 días?	lun 01/10/07	17	jue 06/09/07

**Figura 5.1** Planificación



**Figura 5.2** Diagrama de Gantt del proyecto.

# Capítulo 6

## Solución propuesta

### 6.1. Introducción.

Acorde con la ubicación y su función, hemos elegido una compuerta tipo *VAGÓN* para el diseño de ambas compuertas. En la siguiente figura podemos ver una imagen representativa de una compuerta vagón.



**Figura 6.1** Compuertas vagón ubicada en un canal

Las compuertas planas de rodillos tipo vagón, están diseñadas especialmente para controlar el flujo a través de grandes canales donde la economía y la facilidad de operación sean dos factores preponderantes.

Se trata de una compuerta plana de sección rectangular. Para reducir esfuerzos de maniobra se desliza mediante un sistema de rodillos. Por eso es utilizada en servicios con grandes cargas de agua y grandes secciones.

Son denominadas compuertas de rodillos ya que están soportadas en rodillos que recorren guías fijas y generalmente tienen sellos de caucho para evitar filtraciones a través de los rodillos. Los rodillos minimizan el efecto de la fricción durante la apertura y el cierre de las compuertas, reduciendo así los esfuerzos necesarios de maniobra. Como consecuencia se necesitan motores de menor potencia para moverlas. Pueden ser diseñadas para abrirse hacia arriba o hacia abajo.

Estas compuertas son muy versátiles ya que pueden diseñarse tanto para trabajar bajo presión en una o ambas caras simultáneamente. Generalmente son de sección transversal hueca, para disminuir la corrosión e infiltraciones son rellenas con materiales inertes como el concreto.

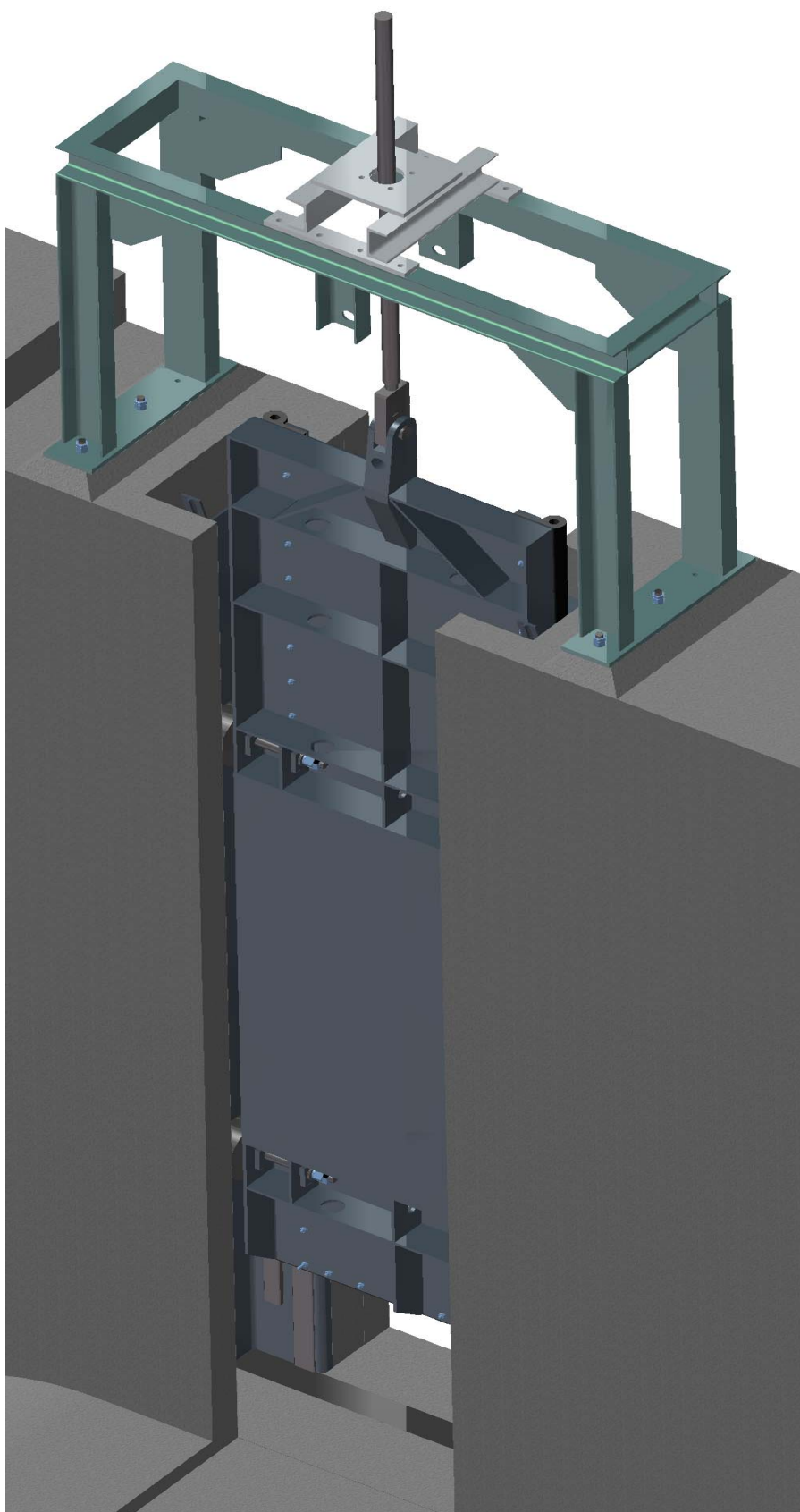
Como veremos las dos compuertas tienen muchos aspectos en común ya que ambas están dentro del mismo tipo de compuerta. Pero como el diseño de cada compuerta vagón dependerá de los requerimientos particulares de cada cierre, deberemos diseñar cada compuerta por separado:

- La pequeña con ubicación lateral según su morfología y requerimientos, será del tipo compuerta rodante para CANAL abierto, con estanqueidad en el fondo y los dos cierres laterales (fig.6.2). Tendrá un cabezal en la parte superior al alojamiento donde se instalará el mecanismo de accionamiento de la compuerta.
- La más grande mostrada en la figura 6.3, situada en la tuberías de toma al final del azud de derivación, será de tipo compuerta MURAL rodante con cierre a cuatro lados: un cierre superior en el dintel, dos cierres laterales y estanqueidad en el fondo. Al igual que la canal tendrá un cabezal en la parte superior al alojamiento donde se instalará el mecanismo de accionamiento de la compuerta.

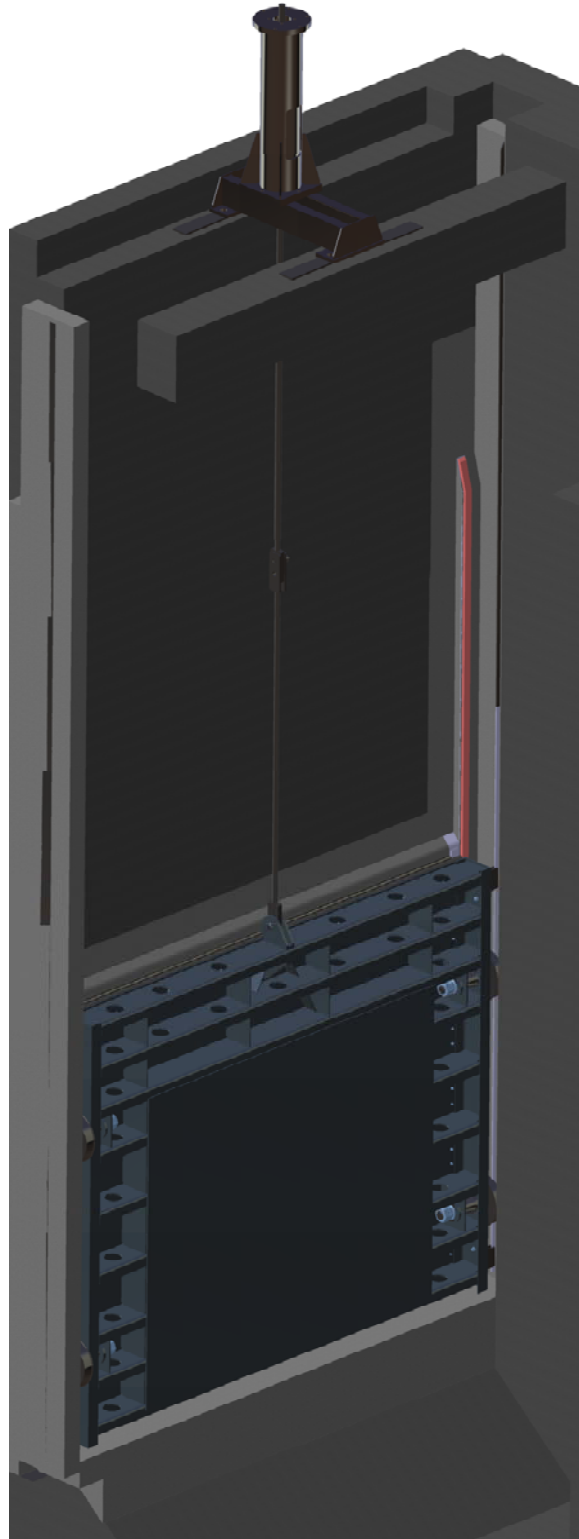
Como se puede observar en ambas compuertas, se trata de una fabricación mecanosoldada robusta con amplia posibilidad de fabricación de medidas, cargas de agua y materiales según necesidades.

El accionamiento puede ser hidráulico, eléctrico, manual y diversas posibilidades de extensión del accionamiento.





**Figura 6.2** Compuerta vagón para la compuerta CANAL



**Figura 6.3** Compuerta vagón para la compuerta MURAL

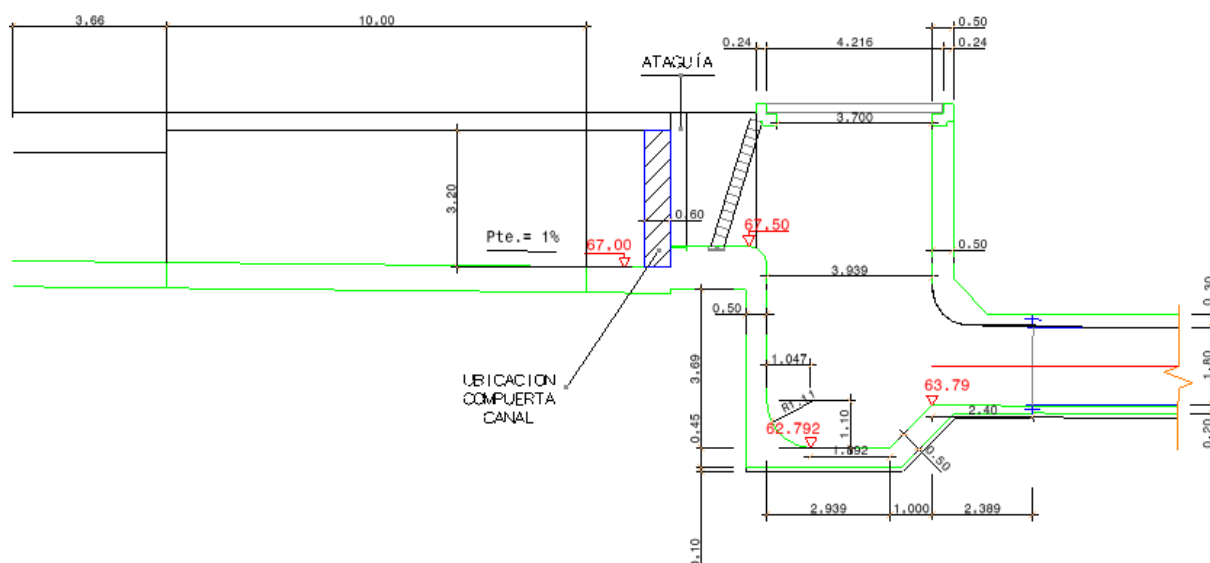
A continuación desarrollaremos con mayor detalle la solución propuesta de cada compuerta por separado.

## 6.2. - Diseño preliminar compuerta canal.

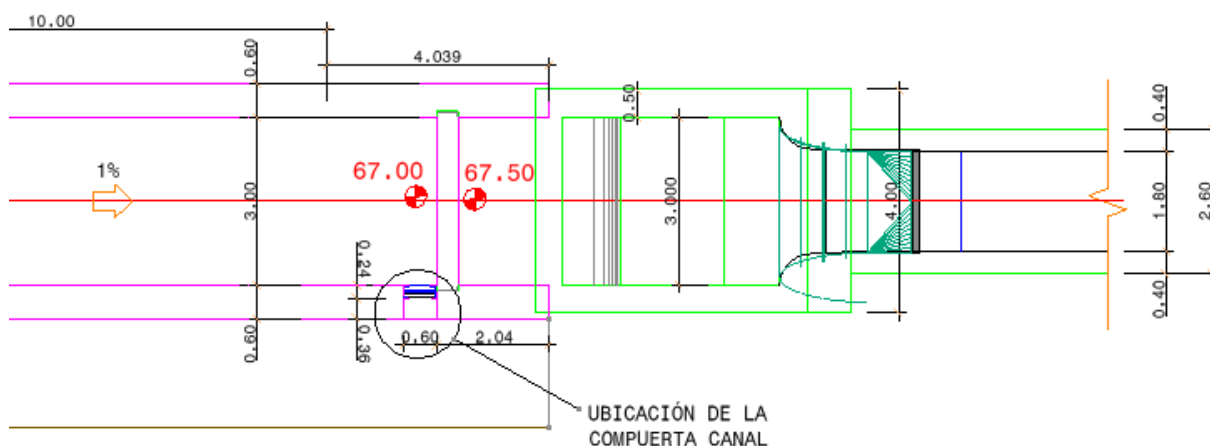
### 6.2.1. Ubicación.

La compuerta canal se instalará en el lateral del azud de derivación tal y como vemos en los planos de las figuras 6.4 y 6.5.

Las dimensiones que nos dan para el alojamiento son de 600 mm. x 2700mm. de vano y 3200 de altura desde la cota de 67,00 hasta donde podemos instalar el accionamiento motor. De estas dimensiones partiremos para el diseño de nuestra compuerta canal.

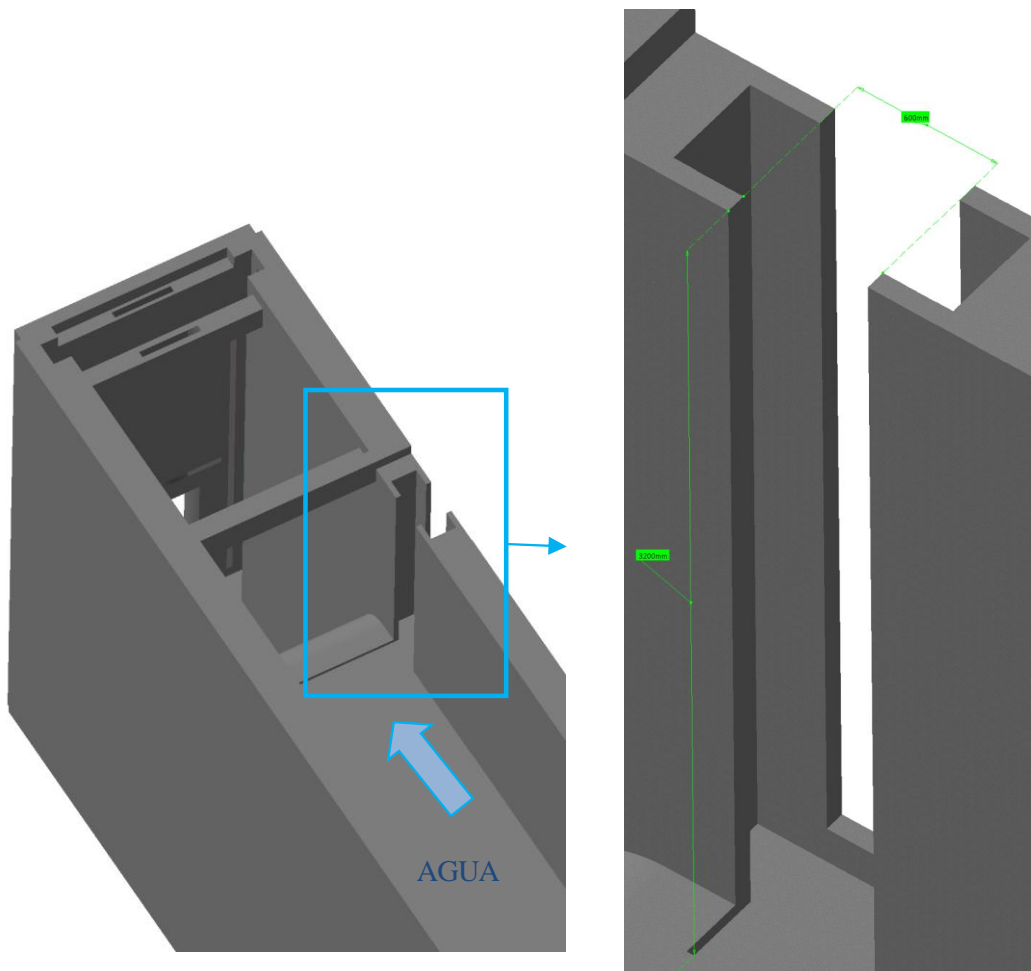


*Figura 6.4* Vista lateral del canal de derivación.



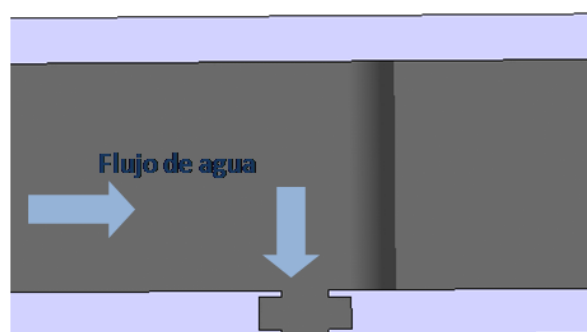
*Figura 6.5* Vista superior del canal de derivación.

Realizaremos un modelo 3D del canal de derivación (fig.6.6) donde iremos diseñando nuestra compuerta canal.



**Figura 6.6** Ubicación de la compuerta canal dentro del canal de derivación

En la figura 6.7 podemos ver como incidirá el agua en la compuerta a diseñar.

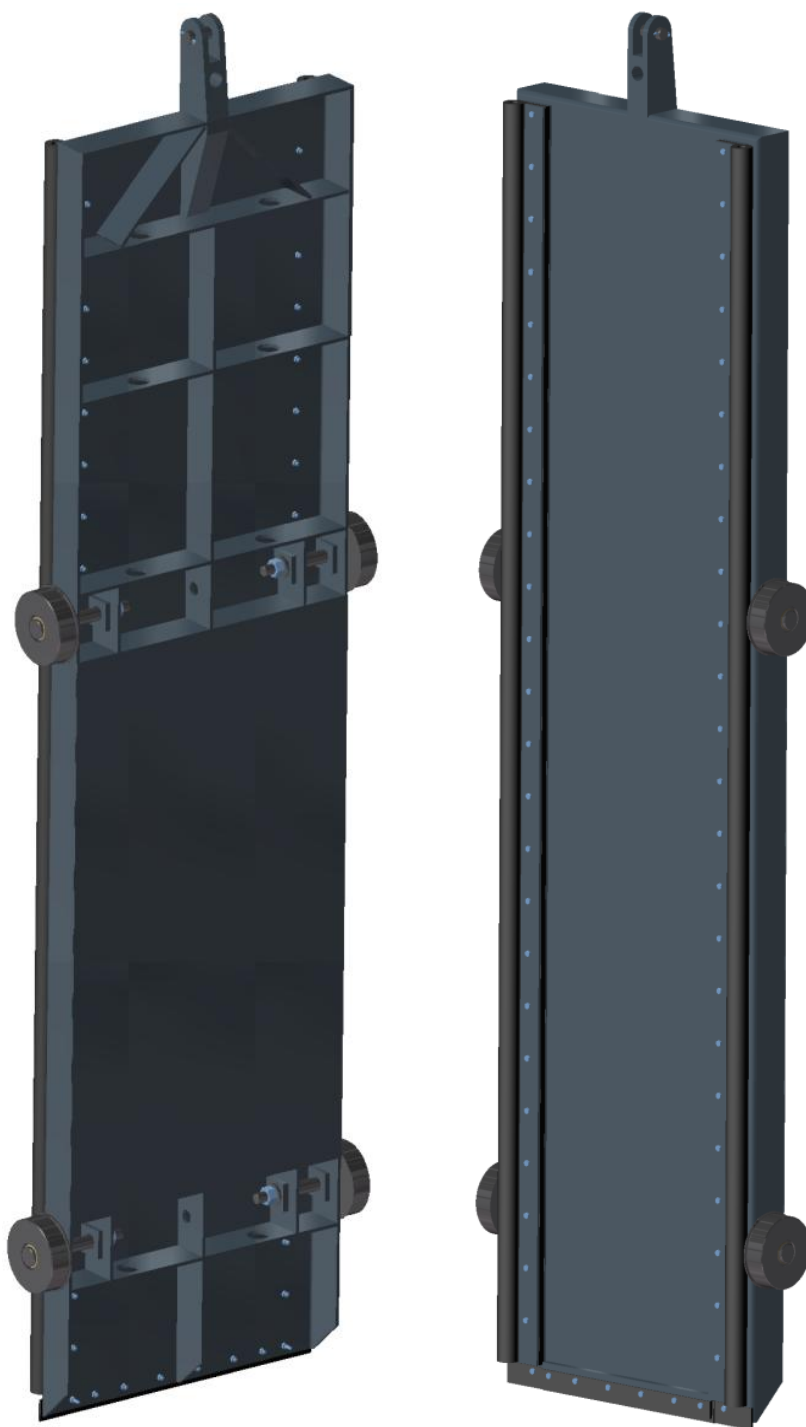


**Figura 6.7** Sentido del agua dentro del canal de derivación.

## 6.2.2. Partes de la compuerta canal.

### 6.2.2.1 Tablero.

El tablero, como podemos ver en la figura 6.8, es una estructura mecanosoldada plana recubierta en su cara de presión por una chapa forro debidamente reforzada por perfilaría. Normalmente tanto la chapa forro como la perfilaría se diseñarán en material acero al carbono.

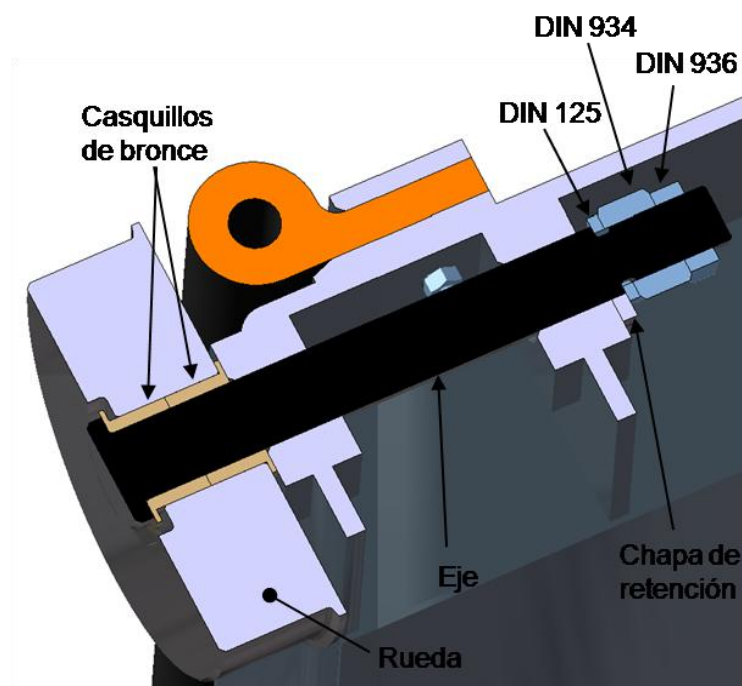


*Figura 6.8* Tablero de la compuerta canal.

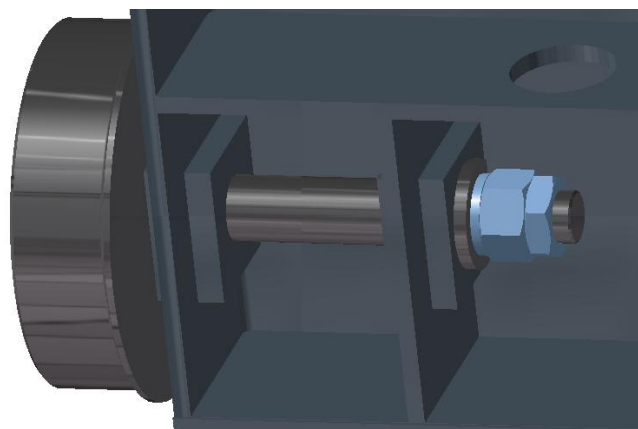
El diseño del tablero se calcula para un correcto funcionamiento en las condiciones extremas de servicio.

En los laterales del tablero se instala el sistema de rodillos, sobre ejes en acero inoxidable, que permiten el guiado de la compuerta en sus maniobras disminuyendo las cargas de operación. El número de rodillos depende de las dimensiones de la compuerta y de las cargas a soportar.

El sistema de rodillos lo podemos ver en la figura 6.9 y 6.10, estará formado por un eje de acero al carbono, dos casquillos de bronce sobre los cuales girarán las ruedas. Para la fijación del eje usaremos una chapa de retención junto con una arandela y dos tuercas.



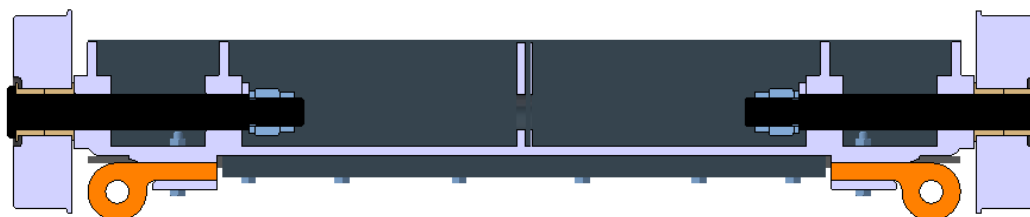
**Figura 6.9** Conjunto sistema rodillos compuerta canal.



**Figura 6.10** Conjunto sistema de rodillos compuerta canal.



Como podemos ver en la figura 6.11, los rodillos se instalarán en parejas de dos, y ubicados simétricos en el tablero.



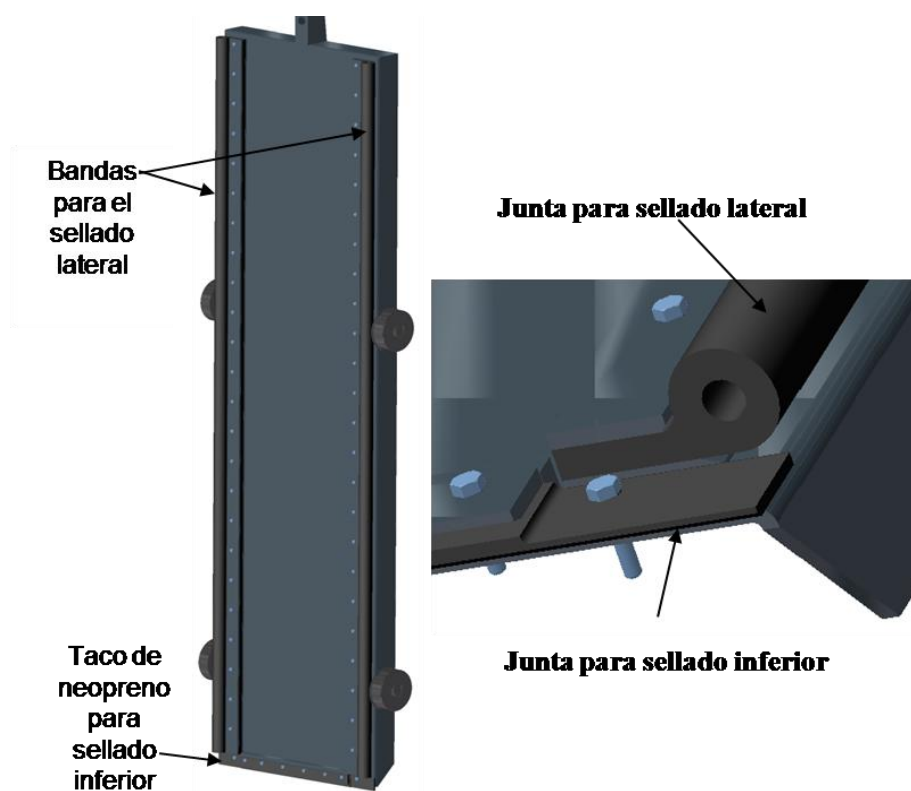
**Figura 6.11** Ubicación simétrica de los rodillos compuerta canal.

También puede llevar un sistema de guiado lateral que se puede realizar bien con patines deslizantes o rodillos auxiliares. Como veremos más adelante, nosotros realizaremos el guiado lateral mediante una pestaña incluida en los propios rodillos.

El tablero lleva incorporados los sistemas de cierre y estanquidad que se describen a continuación:

En los laterales y solera de la cara aguas arriba del tablero se fijarán, mediante tornillos de acero inoxidable las juntas de sellado. En los laterales del tablero las juntas serán de tipo nota musical y en la solera se dispondrá taco de neopreno.

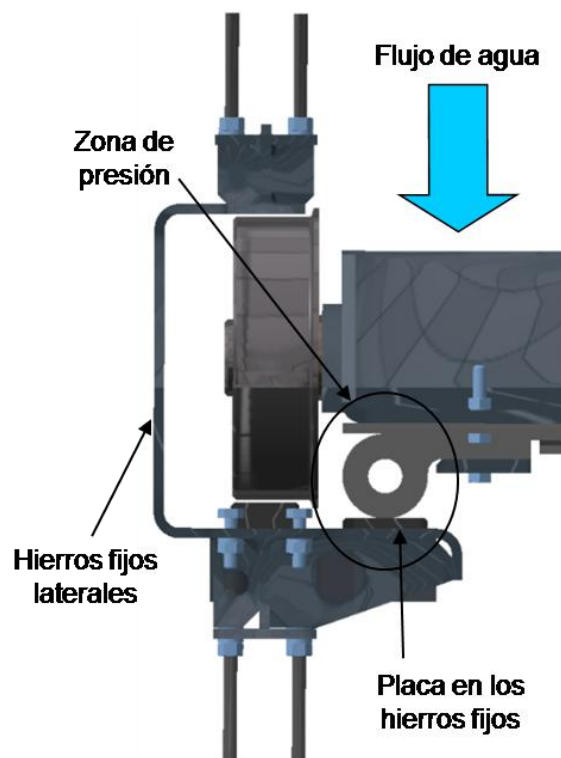
En la figura 6.12 podemos ver la ubicación y la forma de la banda de neopreno y las juntas de tipo nota musical de los laterales del tablero.



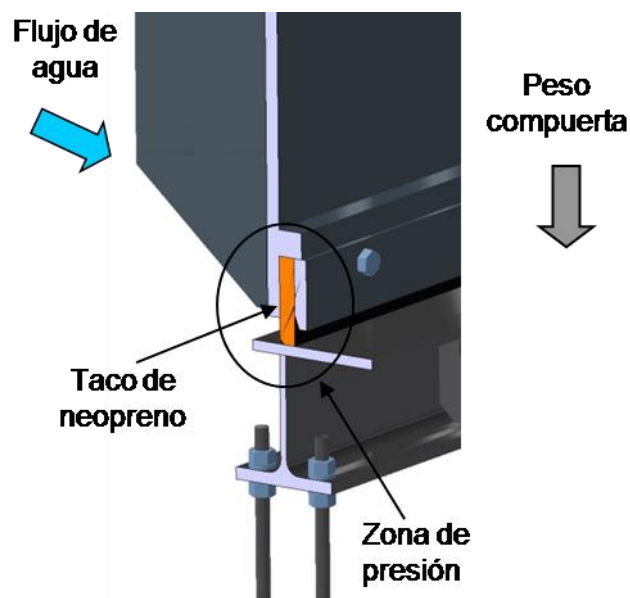
**Figura 6.12** Juntas para el sellado lateral e inferior de la compuerta canal.

El sellado lateral es debido a que la fuerza ejercida por el agua sobre el tablero, provoca una presión de las bandas de neopreno en forma de nota musical sobre unas placas ubicadas en los hierros fijos (fig.6.13).

El sellado inferior es debido a una combinación del peso del tablero y la fuerza que ejerce el agua sobre el tablero (fig.6.14). Estas provocarán que el taco de neopreno ejerza una presión sobre la solera.

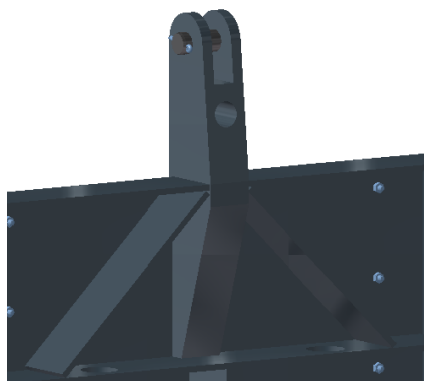


**Figura 6.13** Esquema de sellado lateral en la compuerta canal



**Figura 6.14** Esquema de sellado inferior en la compuerta canal

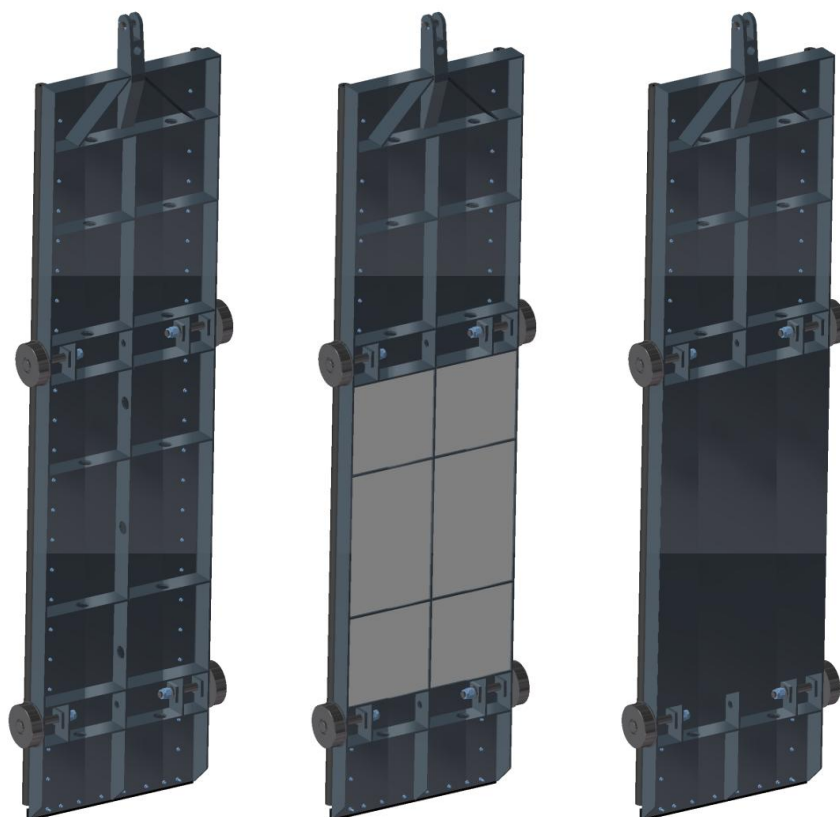
En la parte superior del tablero se dispone el amarre del vástago ampliamente dimensionado. La unión del tablero al mecanismo de accionamiento se realizará mediante husillo de acero inoxidable.



**Figura 6.15** Orejeta para el amarre del vástago en la compuerta canal

Para que la compuerta baje por su propio peso es necesario la mayoría de las veces aumentarle el peso añadiendo cemento. Posteriormente se cierra la estructura con una chapa de acero para proteger el cemento de la acción del agua.

En la figura 6.16 podemos ver el tablero de la compuerta canal sin cemento, con cemento y con cemento y tapa..



Tablero sin cemento

Tablero con cemento

Tablero con cemento y tapa

**Figura 6.16** Tablero compuerta canal con y sin cemento

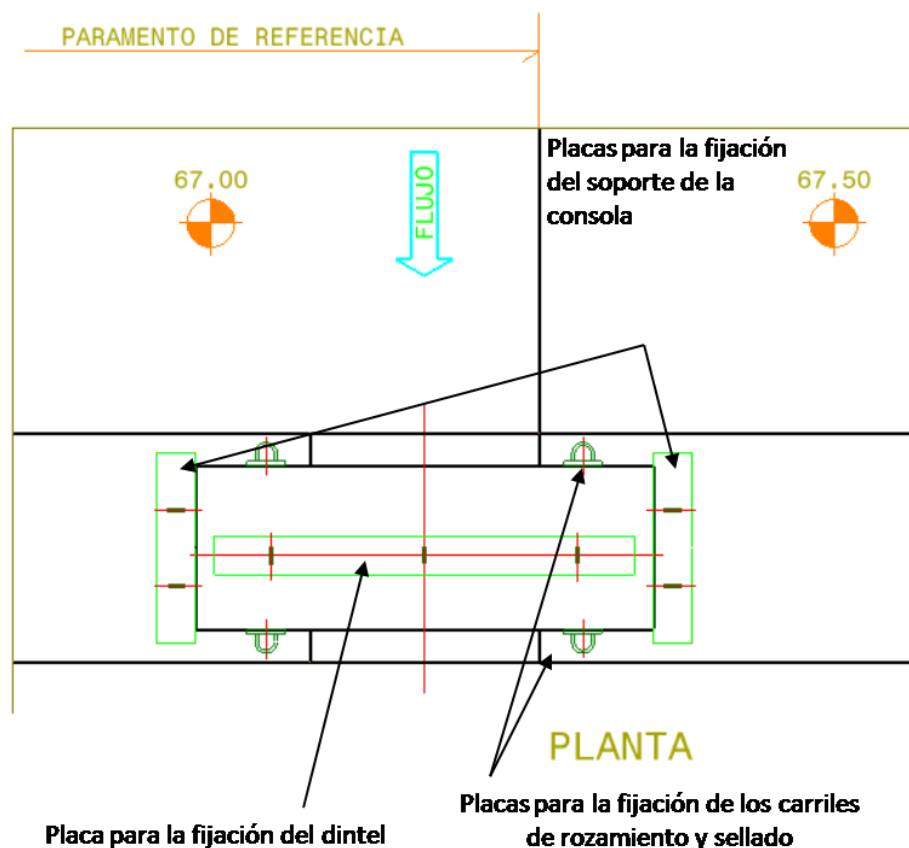
Todas las superficies de acero de la compuerta llevarán una protección anticorrosiva adecuada para las condiciones de servicio.

### 6.2.2.2 Hierros fijos.

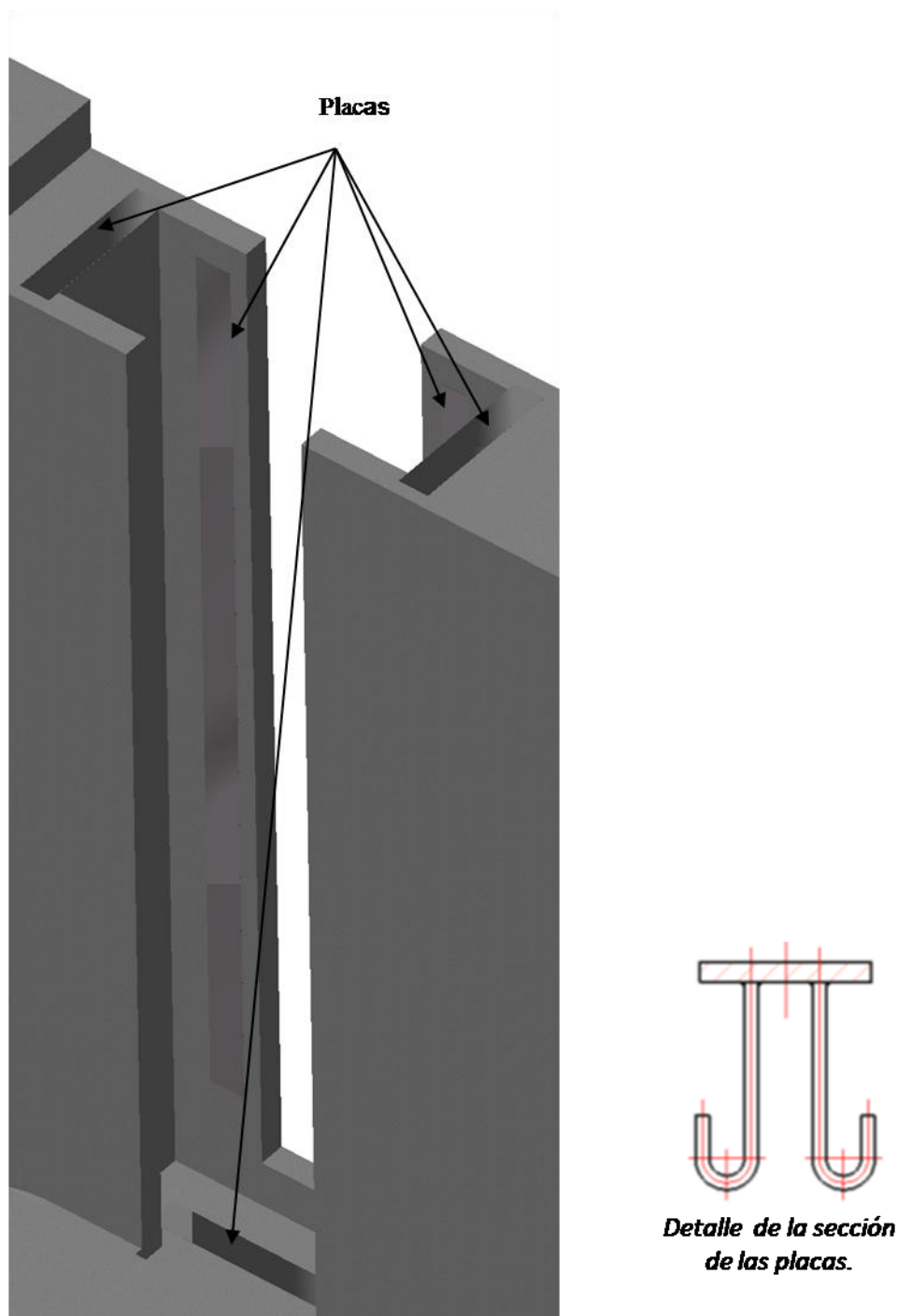
Los hierros fijos son parte fundamental para el buen funcionamiento de la compuerta porque además de definir el alojamiento de la compuerta, son los encargados de:

- Facilitar una superficie de apoyo de los rodillos para su elevación y bajada, son los llamados carriles de presión y contrapresión.
- Disponer de la superficie donde las juntas realicen la presión para cumplir con la estanqueidad necesaria.
- Habilita un guiado correcto de la compuerta para que no se salga de los carriles de presión, contrapresión y estanqueidad.
- Habilitan el mecanismo para la elevación y descenso de la cubierta. En nuestro caso para el motor que será el encargado de dicha función.

Para la instalación de los hierros fijos, antes tenemos que definir la colocación de unas placas en el alojamiento de la compuerta. Esas placas se fijarán al hueco de la compuerta mediante un hormigonado de primera fase que será realizado por la constructora. En la figura 6.17 y 6.18 podemos ver la ubicación de las placas.



**Figura 6.17** Detalle de Ubicación de las placas para los hierros fijos compuerta canal



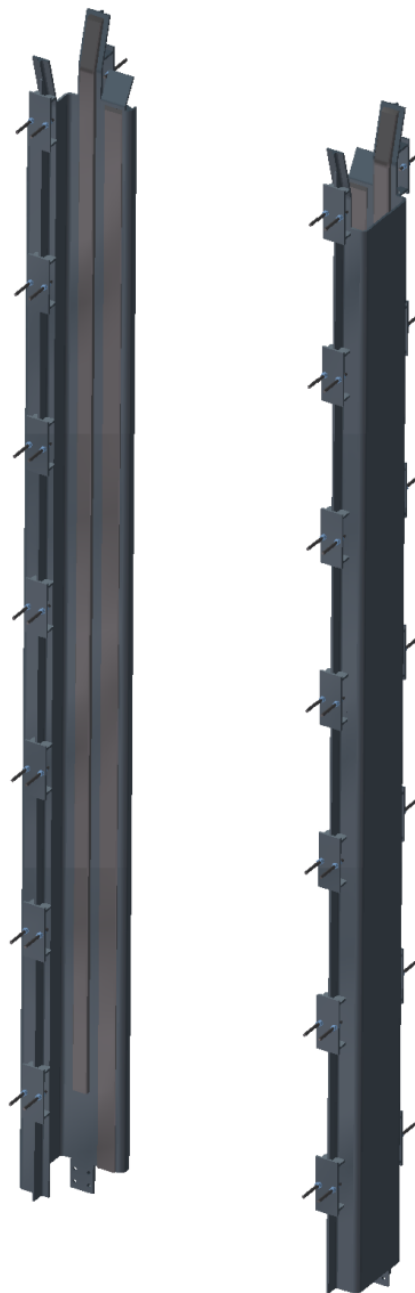
**Figura 6.18** Placas para la instalación de los hierros fijos en la compuerta canal

Los hierros fijos de la compuerta canal se componen de tres partes:

- Dos montantes: éstos forman las ranuras laterales en las que se encaja el tablero y en ellos irán dispuestos los caminos que servirán de guía de la compuerta y el camino de presión de las juntas de sellado lateral.

- Cabezal: se encuentra en la coronación de la compuerta y en el que se soportará el mecanismo de accionamiento de la compuerta, encargado de la elevación y bajada de ésta.
- EL umbral: con sus anclajes quedará embutido en el hormigón de la solera y será el encargado de facilitar el sellado inferior de la compuerta.
- **Montantes**

Los montantes (fig.6.19) están formados por dos perfiles laterales en T de acero laminados embebidas en el hormigón que constituyen los montantes verticales que sirven de guía a los rodillos y se extenderán hasta el nivel del piso de maniobra.



**Figura 6.19** Montantes de los hierros fijos compuerta canal.

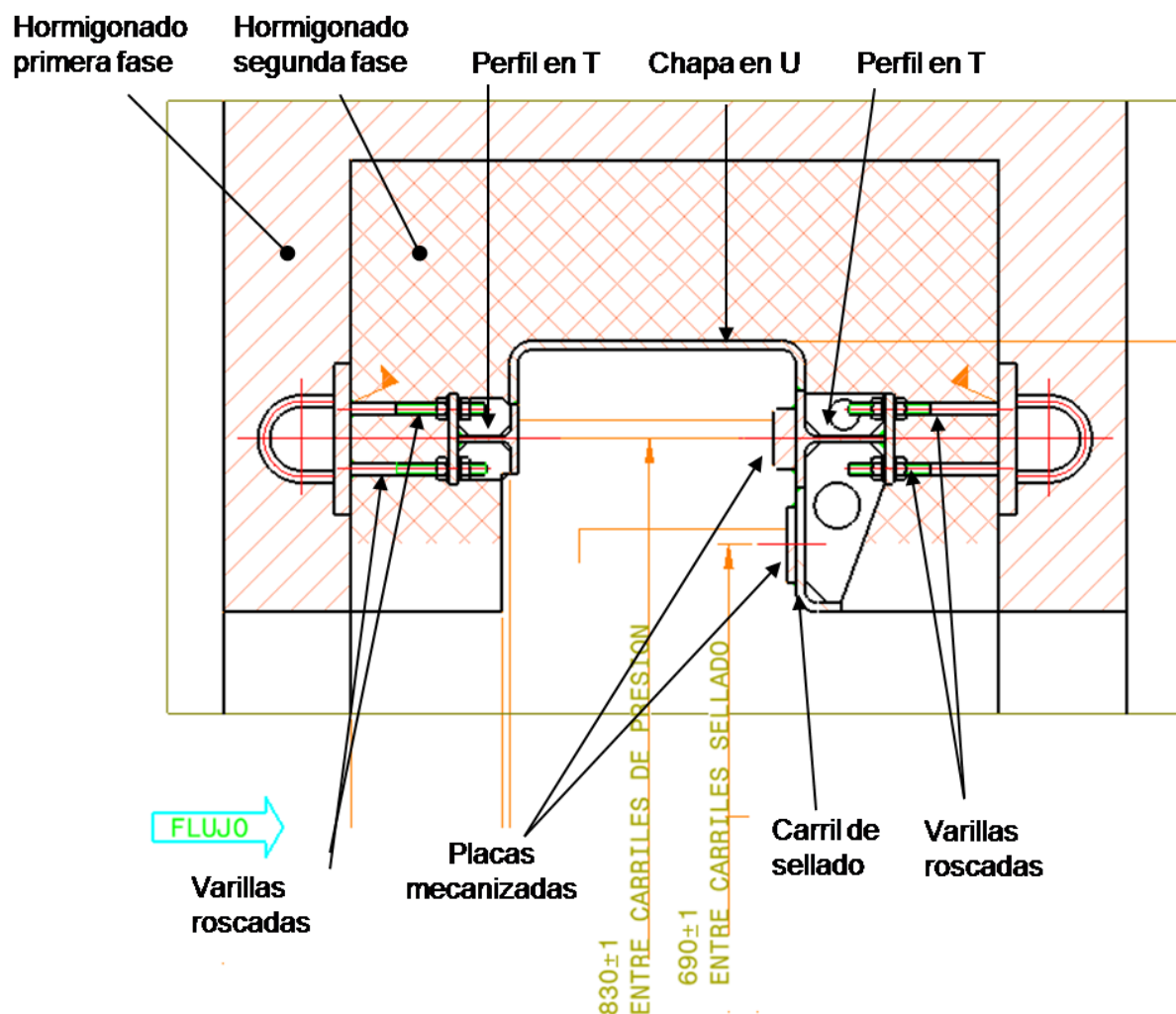


En el perfil en T que hará de carril de presión, se le añade una chapa plana mecanizada para asegurar una buena planicidad, necesaria para su buen funcionamiento.

Estos dos perfiles están unidos por una chapa en forma de U que nos facilitará el montaje.

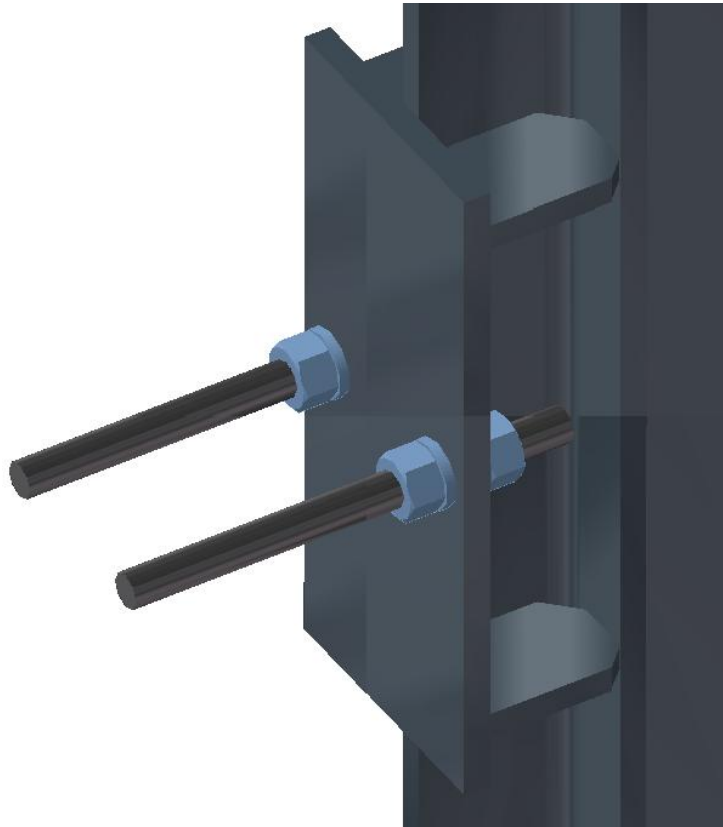
En el lateral de uno de esos perfiles en T, se dispone de una chapa, que llevará el carril de sellado a las que se añadirá al igual que el carril de presión, una placa mecanizada que nos asegurará una homogeneidad en el sellado.

Estos montantes dispondrán de varillas roscadas a ambos lados, que son reguladas mediante arandela y tuerca por ambos lados y que son las que se unirán a las placas instaladas en el hormigonado de primera fase (fig.6.20).



**Figura 6.20** Instalación de los montantes

Mediante las varillas roscadas instaladas en los montantes (fig.6.21), una vez soldado el conjunto podremos regular su posición para asegurar unas cotas necesarias entre carriles para el funcionamiento de la compuerta.



**Figura 6.21** Varillas roscadas

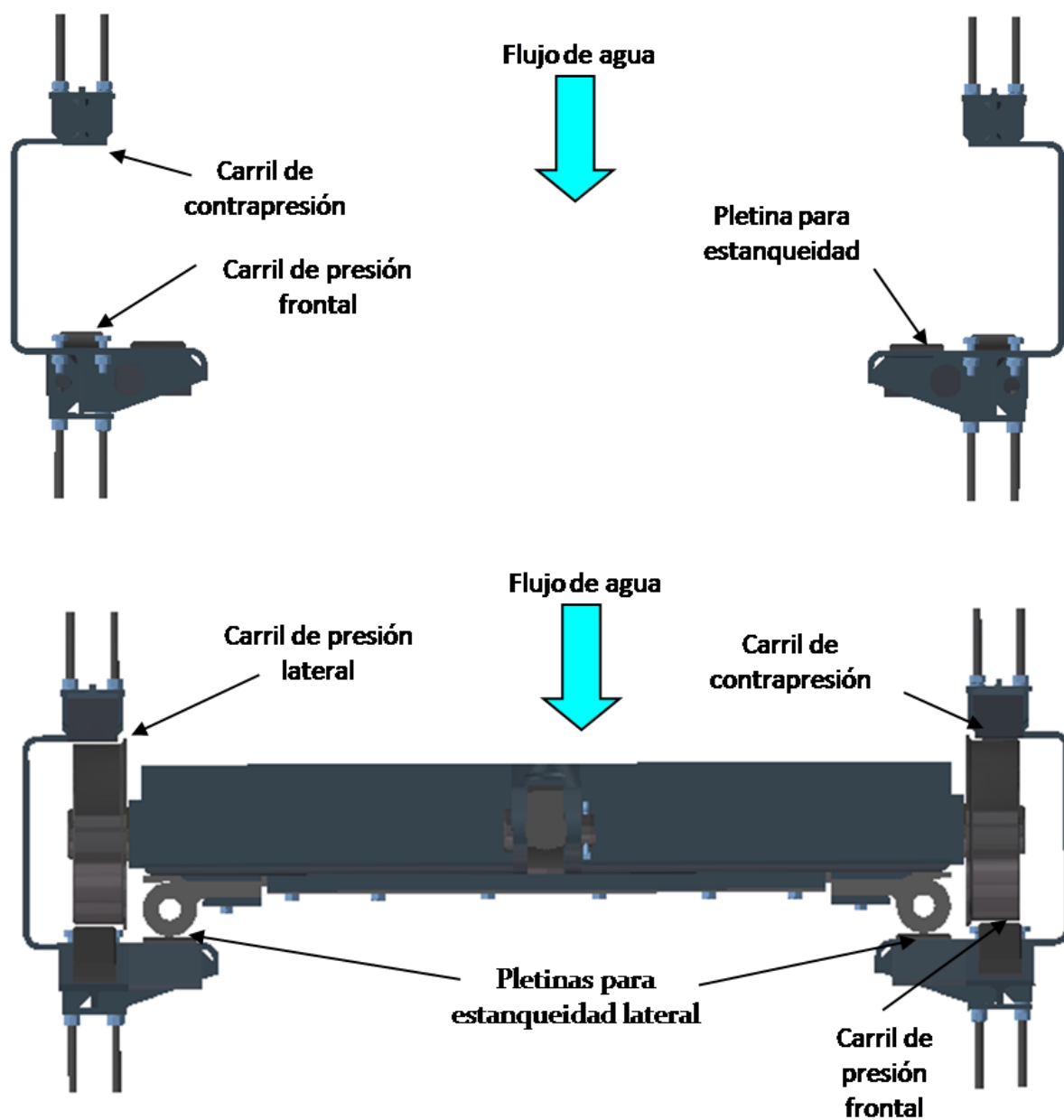
En los montantes podemos diferenciar las siguientes partes:

- carriles de presión frontales
- carriles de presión laterales
- carriles de contrapresión
- carriles de estanqueidad

Éstos están debidamente reforzados para transmitir las cargas al hormigón.

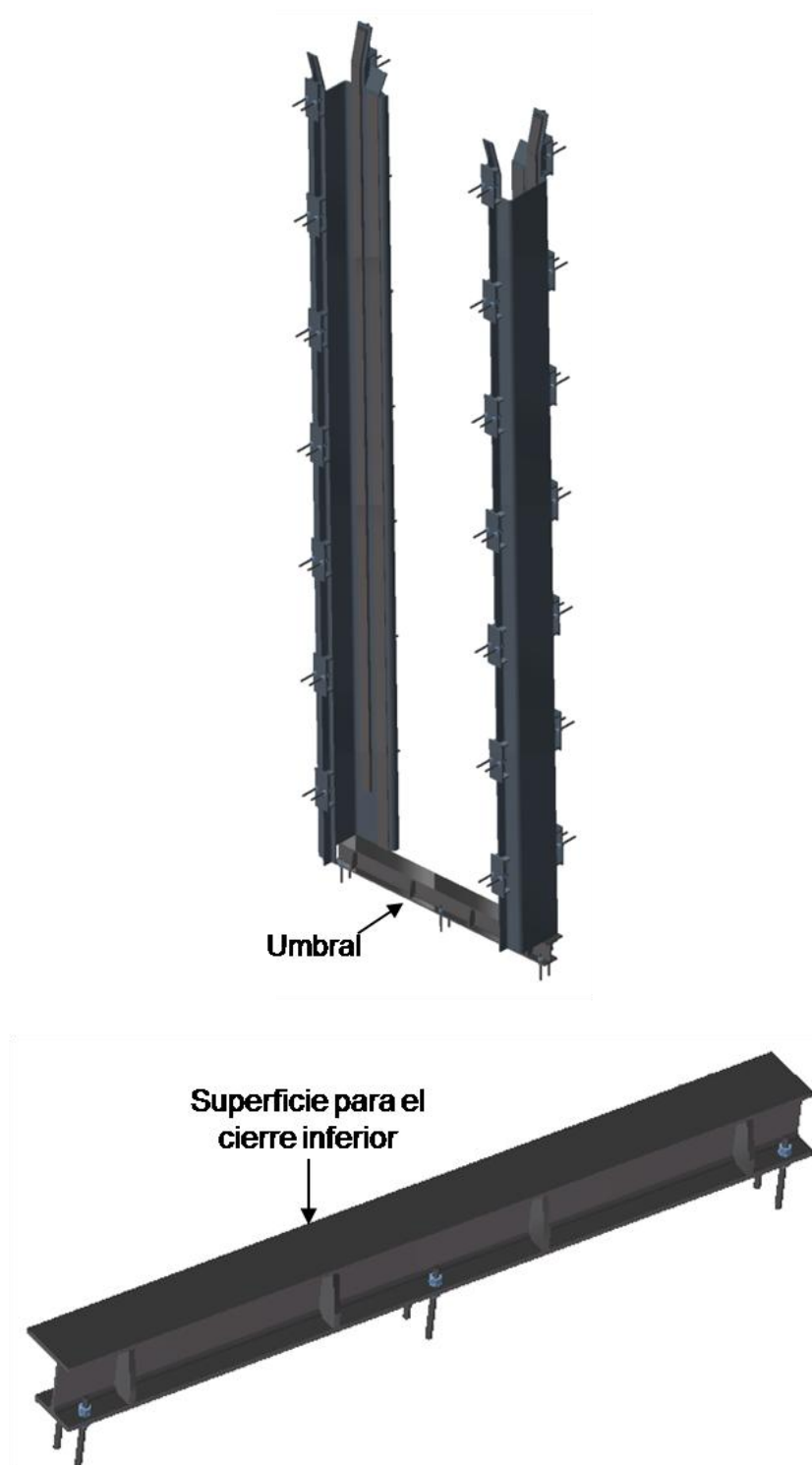
Sobre estos perfiles en el lado del cierre y en su zona interior se colocan pletinas en acero inoxidable en los laterales que servirán de superficie de contacto con el elastómero en la posición de cierre. Estas pletinas laterales se prolongarán hasta el máximo recorrido de la compuerta en apertura para deslizamiento de los cierres de estanqueidad.

En la figura 6.22 podemos ver las distintas partes del montante y su funcionamiento.



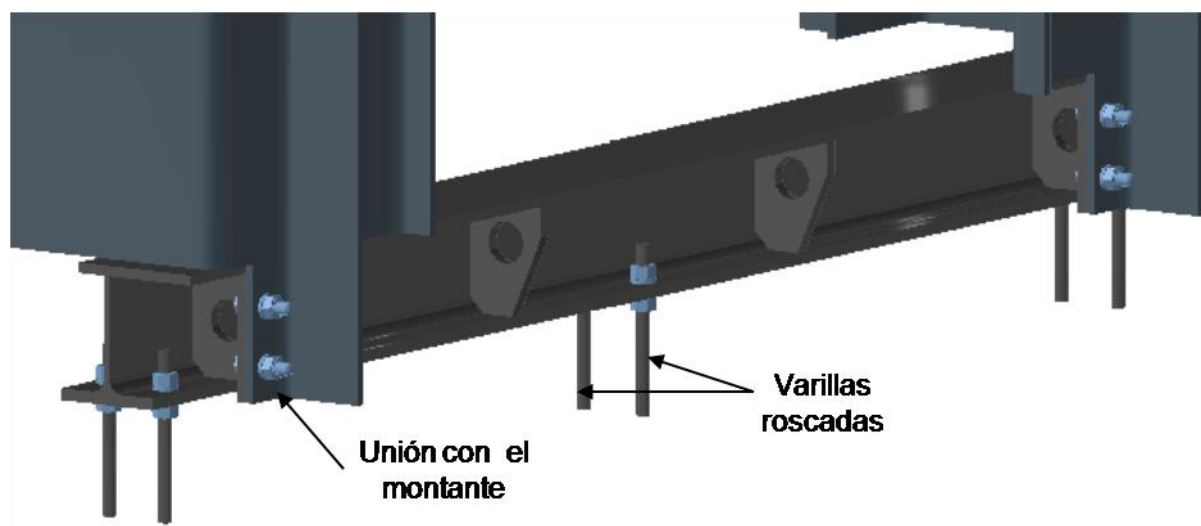
**Figura 6.22** Funcionamiento de los montantes con el tablero

El **umbral** lo colocaremos en la solera. Como podemos ver en la figura 6.23, será un perfil con una superficie de acero inoxidable para el cierre inferior de sellado de la compuerta.



**Figura 6.23** Ubicación del umbral en los hierros fijo de la compuerta canal

Como podemos ver en la figura 6.24, el umbral se une a los montantes mediante tortillería. Para la unión con las placas fijadas en el hormigonado de primera fase, disponemos de varillas roscadas al igual que lo montantes para así poder ir regulando y conseguir las cotas necesarias.

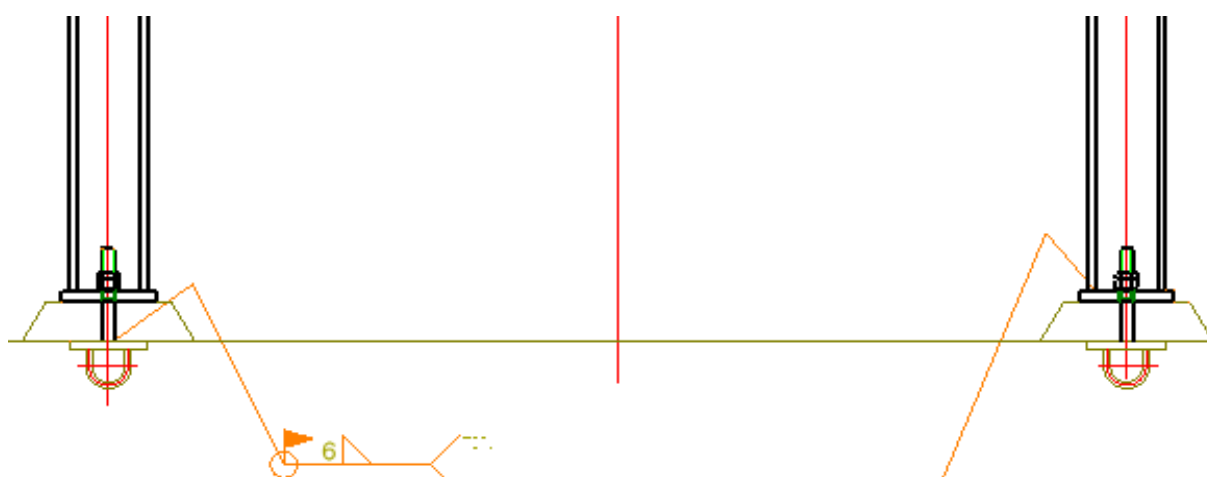


**Figura 6.24** Unión con los montantes y con las placas

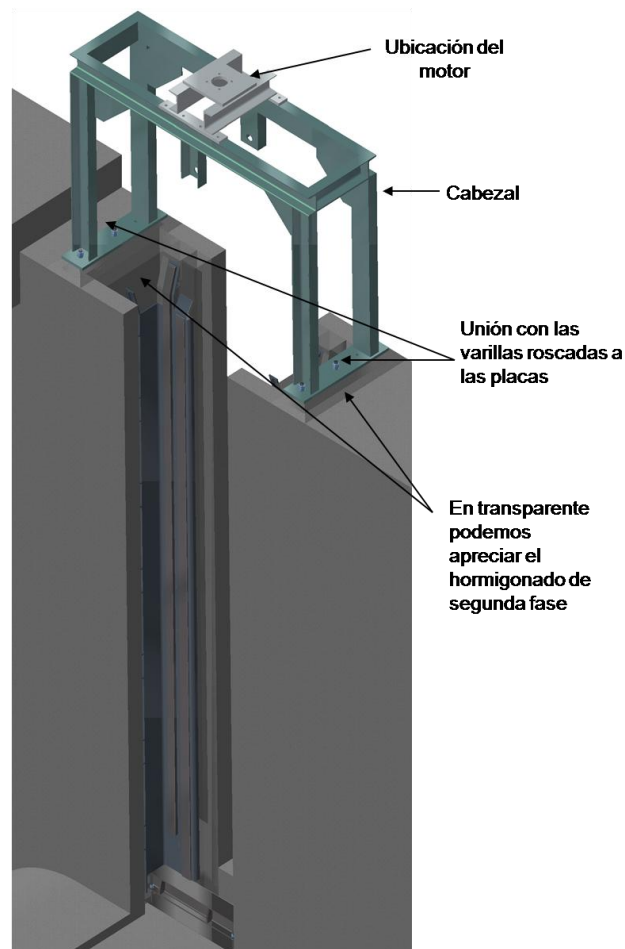
En la figura 6.26 podemos ver cómo el **cabezal** se encuentra en la parte superior del alojamiento de la compuerta canal. En él se instalará el mecanismo de accionamiento de la compuerta.

Se trata de un soporte motor compuesto por perfiles en U fabricado en acero S275 JR, chorreado y pintado, con una altura adecuada para que la compuerta pueda subir según su requerimiento.

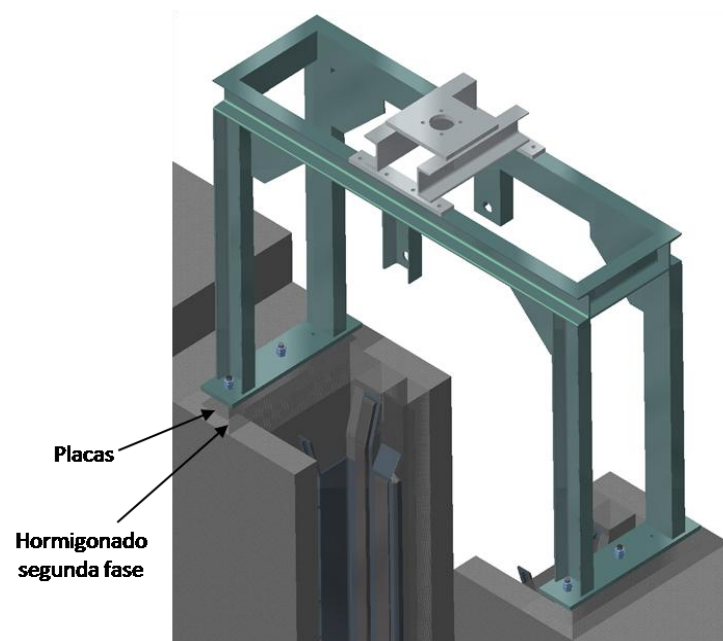
Su instalación será mediante varillas roscadas al igual que los montantes que irán soldadas a las placas (fig.6.25 y fig.6.27).



**Figura 6.25** Instalación cabezal de la compuerta canal



**Figura 6.26** Ubicación del cabezal



**Figura 6.27** Instalación del cabezal mediante las varillas roscadas



By-pass: aunque las compuertas vagón se dimensionan para operar contra las condiciones de carga más desfavorables cabe la posibilidad de instalar incorporado en el tablero de la compuerta un by-pass que se actúa con el accionamiento principal, y que permite la apertura de la compuerta con cargas equilibradas.

Una vez instalados los hierros fijos, tenemos la posibilidad de ir regulando el sistema mediante las tuercas (fig. 6.28) situadas en las varillas roscadas. Es necesario ese reglaje para asegurar unas cotas necesarias para el correcto funcionamiento de la compuerta.

Es necesario ese reglaje también porque al hacer la instalación y debido a las uniones soldadas de las varillas se producen deformaciones que sin ese sistema serían imposibles de absorber.



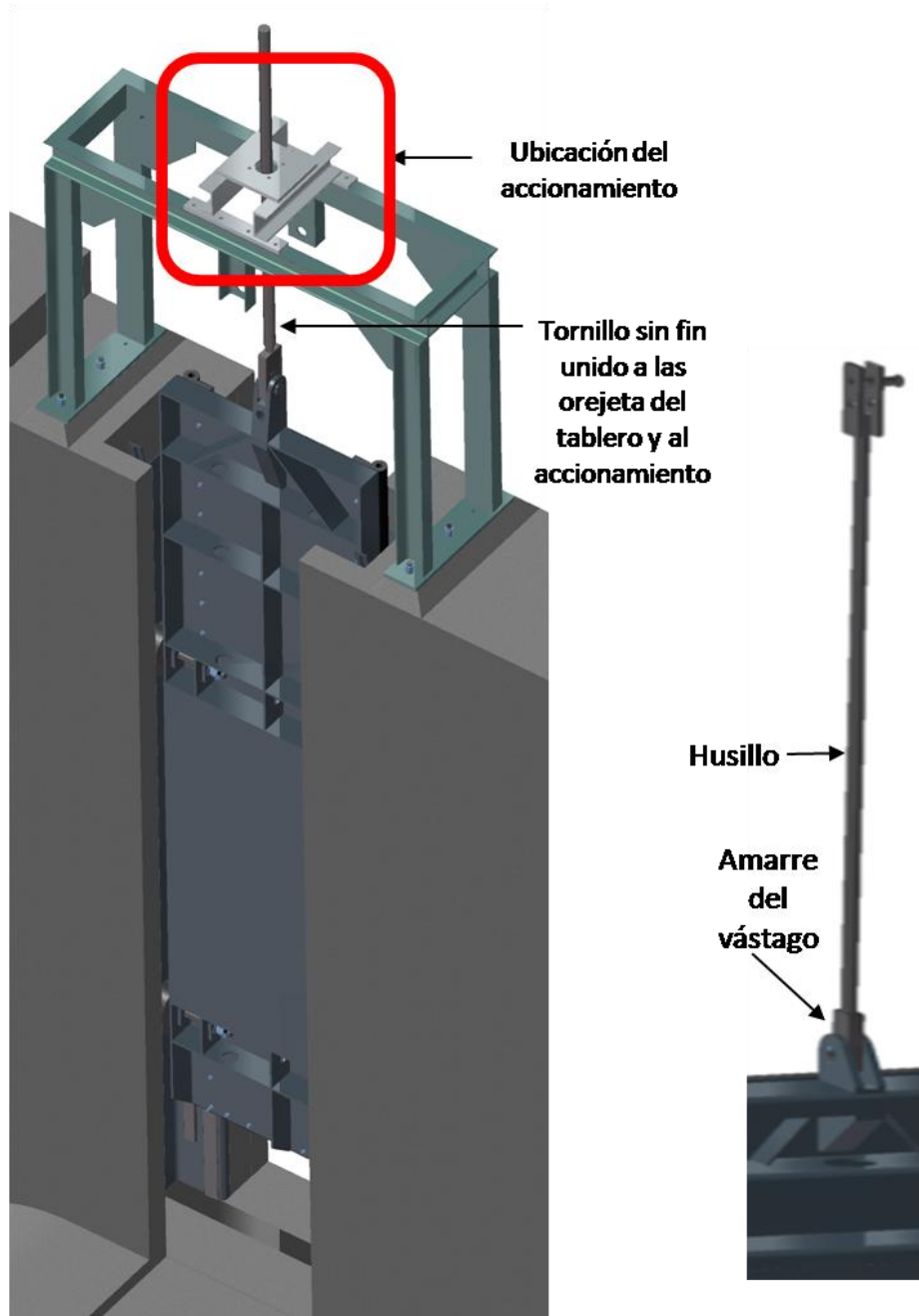
**Figura 6.28** Tuercas para unión y reglaje del cabezal en la compuerta canal

Una vez reglado y probado el funcionamiento de la compuerta se procederá a un hormigonado de segunda fase realizado, al igual que el de primera fase, por la constructora.

Todas las superficies de acero de la compuerta llevarán una protección anticorrosiva adecuada para las condiciones de servicio

### 6.2.2.3 Accionamiento

El tablero de la compuerta será accionado por el actuador mediante un tornillo sin fin unido a la orejeta del tablero. El accionamiento puede ser eléctrico ó hidráulico.



**Figura 6.29** Mecanismo de Accionamiento compuerta canal

### Accionamiento hidráulico

Las maniobras de accionamiento se realizan normalmente por medio de un cilindro hidráulico doble efecto con vástago de acero inoxidable cromado. En el caso de compuertas vagón de protección de centrales hidráulicas es común el accionamiento de la misma con cilindro hidráulico simple efecto con amortiguación en el último tramo en el que la compuerta se dimensiona para cerrar por gravedad, añadiendo lastre si es necesario, contra caudales de paso. Se dispone en ambos caso de una regleta de indicación mecánica de

posición. En los casos en los que la distancia entre el piso de maniobra y la compuerta es grande se utiliza el sistema de eslabones mecánicos para la unión entre ambos.

El grupo hidráulico de maniobra dispone de depósito de aceite con doble motobomba (una de emergencia) y bomba manual de emergencia. El sistema va provisto de las seguridades necesarias para evitar pérdidas de posición de la compuerta. El armario eléctrico de maniobra va provisto de un PLC para programación de las maniobras de apertura y cierre. Dispone de los pulsadores e indicadores necesarios para controlar las operaciones de la compuerta.

Nosotros por especificación técnica, instalaremos un **actuador eléctrico TODO-NADA** para maniobrar la compuerta.

**Accionamiento Compuerta:** El actuador seleccionado (fig.6.30), es un actuador eléctrico CENTORK con husillo ascendente con las siguientes características:

- Motor Trifásico.
- 2 Finales de carrera para limitación de recorrido DPDT - IP67.
- 2 Finales de carrera para limitación de par DPDT - IP67.
- 1 Final de carrera de intermitencia.
- Volante manual de emergencia embragable.
- Brida de conexión con salida mecanizada según husillo.

**Automatización:** Conjunto electrónico de maniobras adosado a actuador eléctrico.



**Figura 6.30** Actuador eléctrico para la compuerta canal

### 6.2.3 Sistemas de protección anticorrosivos.

Para la aplicación de un tratamiento de protección anticorrosivo diferenciaremos entre:

- Estructuras de acero en inmersión de agua permanente a las que hemos aplicado los siguientes tratamientos:

- Chorreado al grado SA 2 ½
- Una capa de imprimación epoxi rica en Zinc, con un espesor de película seca de 50 micras.
- Tres capas de pintura de alquitrán epoxi, con un espesor total de película seca de 300 micras.
- Estructuras de acero expuestas a la atmósfera:
  - Chorreado al grado SA 2 ½
  - Una capa de imprimación clorocaucho pigmentada con fosfato de zinc, de 50 micras de espesor.
  - Una capa intermedia de fondo de clorocaucho de alto espesor, de 80 micras de espesor.
  - 100 micras Cloro caucho alcídico azul RAL 5015
- Estructuras de acero embebido en hormigón:
  - Limpieza con cepillo metálico chorreado de grado SA 2 ½.
  - Una capa de cemento látex.

Los materiales y las normas utilizadas son:

Para partes estructurales ver tabla 6.1.

Para Aceros inoxidables ver tabla 6.2

**Tabla 6.1** *Materiales y normas para partes estructurales compuerta cana*

Norma	EN10025	DIN	ASTM
Material	S275JR	1.0044	A570 Gr40

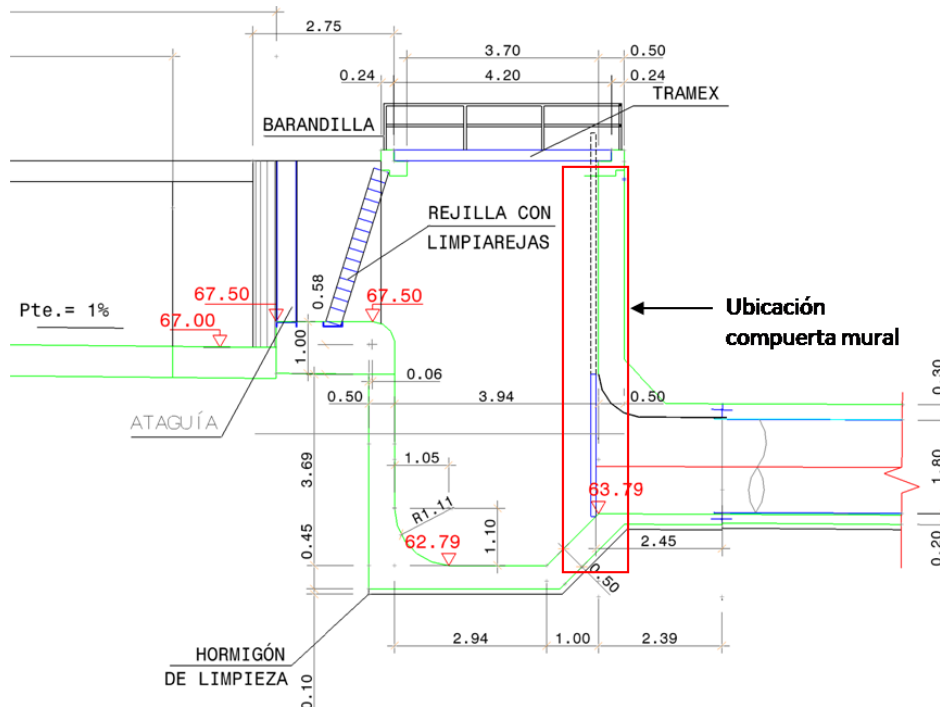
**Tabla 6.2** *Aceros inoxidables compuerta canal*

Norma	EN 10088	DIN	AISI
Material	X2CrNi18-9	1.4307	304L
Material	X2CrNiMo17	1.4404	316L
Material	DUPLEX 2205	1.4462	A240

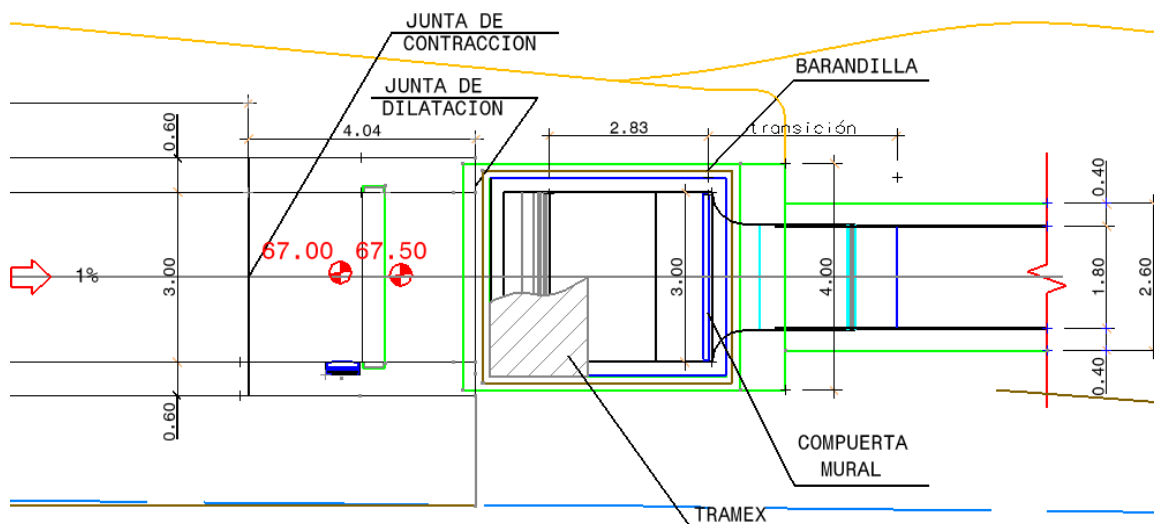
### 6.3. - Diseño preliminar compuerta mural.

#### 6.3.1. Ubicación.

La compuerta mural se instalará en el final del azud de derivación tal y como vemos en los planos que se muestran en la figura 6.31 y 6.32. Con esta compuerta regularemos el paso de agua hacia el embalse.



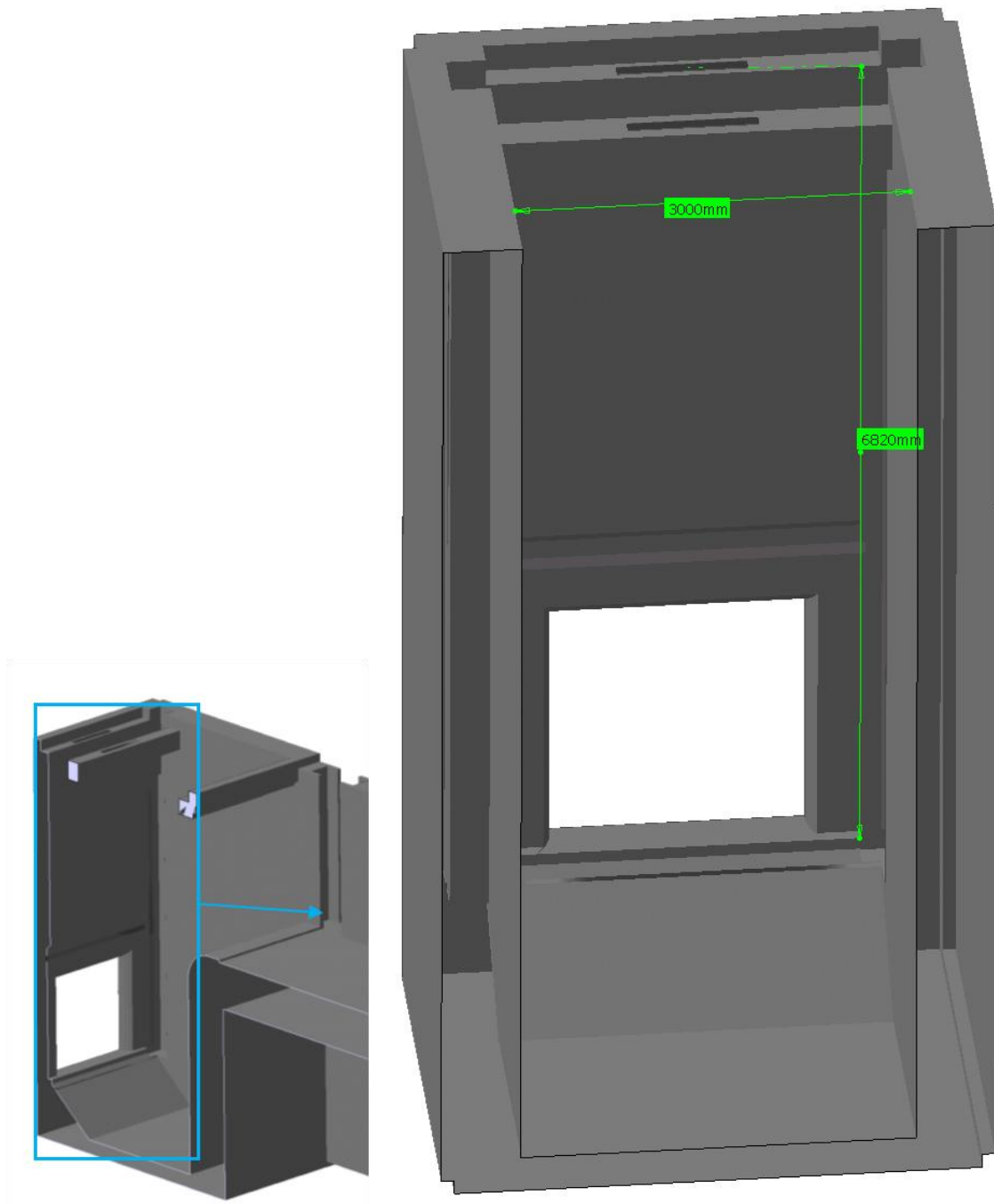
**Figura 6.31** Vista lateral del canal de derivación



**Figura 6.32** Vista superior del canal de derivación

Las dimensiones que nos dan para el alojamiento son de 3000 mm. x 2750mm. de vano y unos 6820 de altura desde la cota de 63,79 hasta donde podemos instalar el accionamiento motor. De estas dimensiones partiremos para el diseño de nuestra compuerta mural.

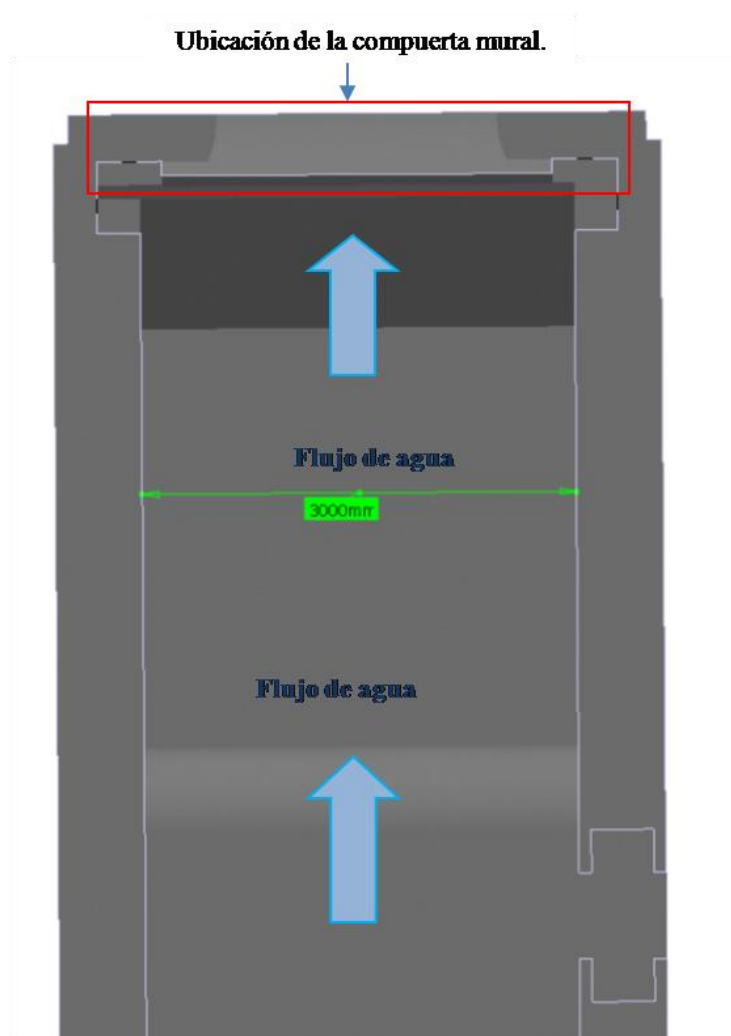
Realizaremos un modelo 3D del canal de derivación (fig.6.33) donde iremos diseñando nuestra compuerta mural.



**Figura 6.33** Ubicación de la compuerta mural dentro del canal de derivación



En la figura 6.34 podemos ver como incidirá el agua en la compuerta a diseñar.



**Figura 6.34** Sentido del agua dentro del canal de derivación.

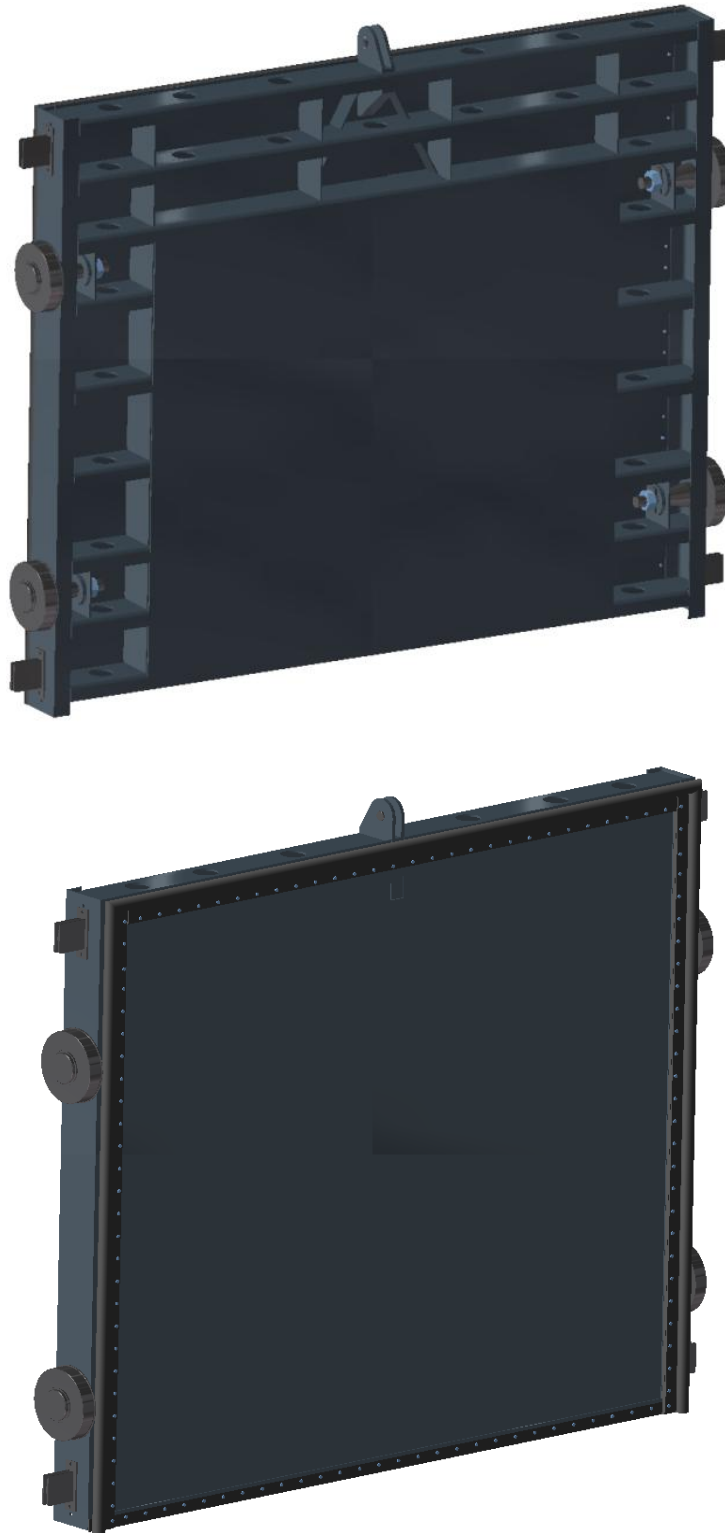
## 6.3.2. Partes de la compuerta mural.

### 6.3.2.1 Tablero.

Como podemos ver en la figura 6.35, el tablero es similar al de la compuerta canal: se trata de una estructura mecanosoldada plana recubierta en su cara de presión por una chapa forro debidamente reforzada por perfilería. Tanto la chapa forro como la perfilería se diseñarán en material acero al carbono.

El diseño del tablero se debe calcular para un correcto funcionamiento en las condiciones extremas de servicio.

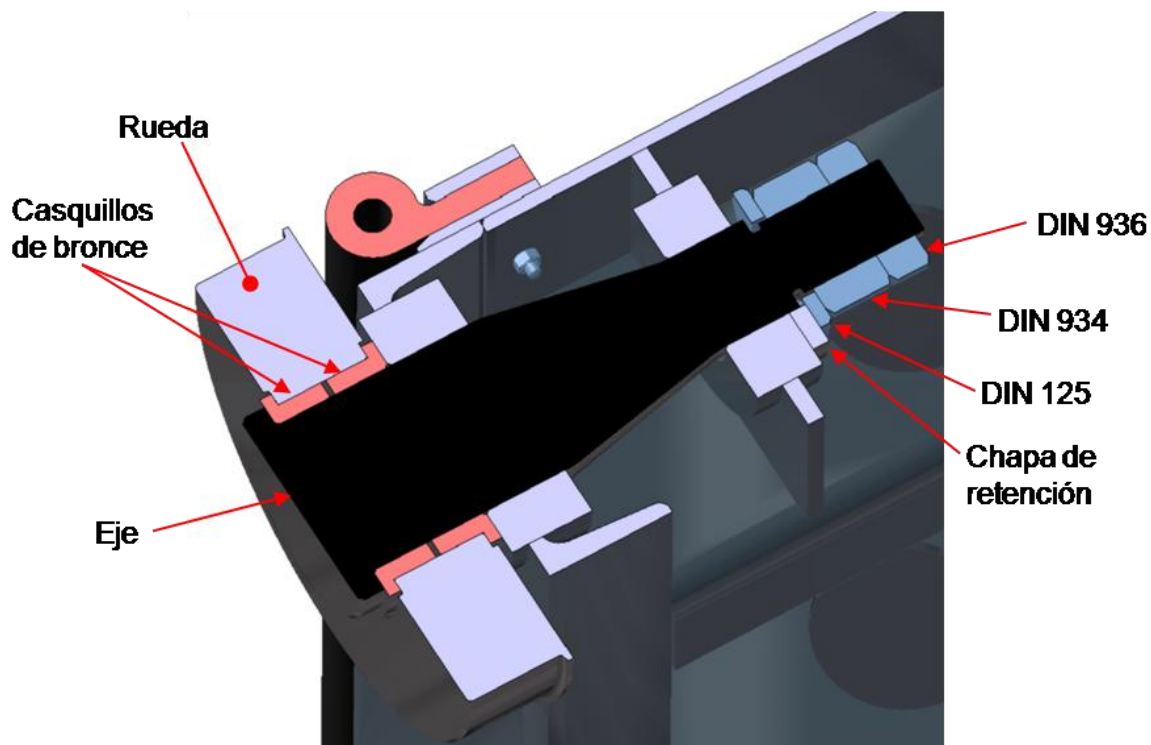
Para facilitar el guiado de la compuerta en sus maniobras y disminuir las cargas de operación, en los laterales del tablero se instalarán un sistema de rodillos sobre ejes en acero inoxidable. El número de rodillos dependerá de las dimensiones de la compuerta y de las cargas a soportar.



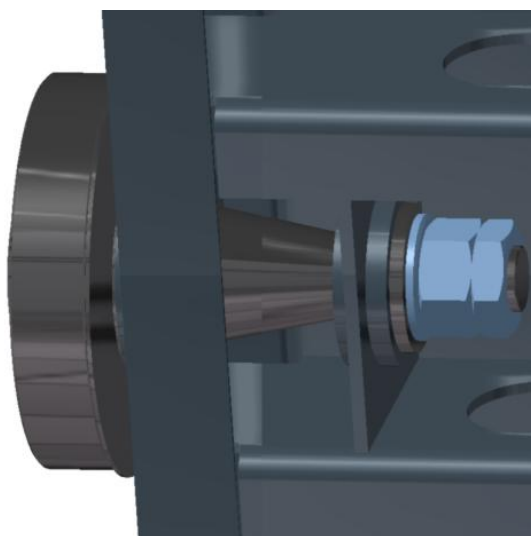
**Figura 6.35** Tablero de la compuerta mural.

Para el guiado lateral utilizaremos unos patines guías deslizantes.

El sistema de rodillos lo podemos ver en la figura 6.36 y 6.37 estará formado por un eje de acero al carbono, dos casquillos de bronce sobre los cuales girarán las ruedas. Para la fijación del eje usaremos una chapa de retención junto con una arandela y dos tuercas.



**Figura 6.36** Conjunto sistema rodillos compuerta mural



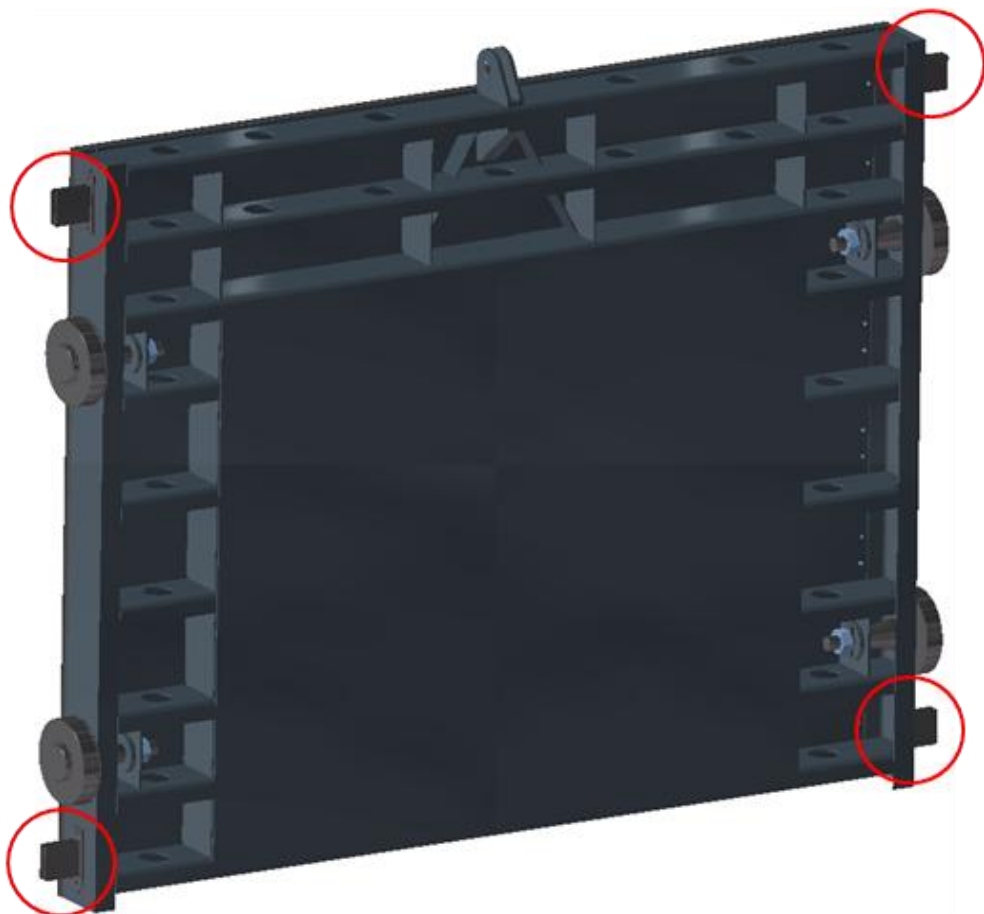
**Figura 6.37** Conjunto sistema de rodillos compuerta mural.

Como podemos ver en la figura 6.38, los rodillos se instalarán en parejas de dos, y ubicados simétricos en el tablero.



**Figura 6.38** Ubicación simétrica de los rodillos compuerta mural.

Para realizar el guiado de la compuerta en las maniobras, se instalan 4 patines de guiado deslizantes, uno en cada esquina ver figura 6.39.



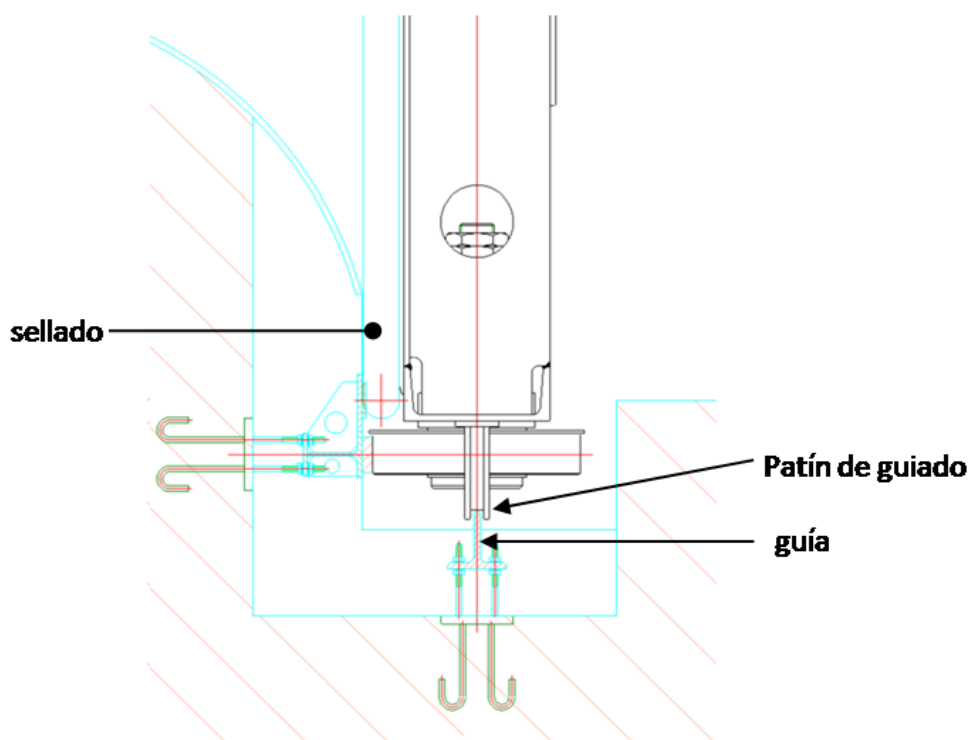
**Figura 6.39** Ubicación de los patines guía en el tablero compuerta mural.

En la figura 6.40 podemos ver un detalle del patín guía del tablero.



**Figura 6.40** Patín guía. 4 posiciones

Estos patines guiarán la compuerta a través de dos guías ubicadas en los laterales del alojamiento de la compuerta en el azud de derivación. El esquema lo podemos ver en la figura 6.41.

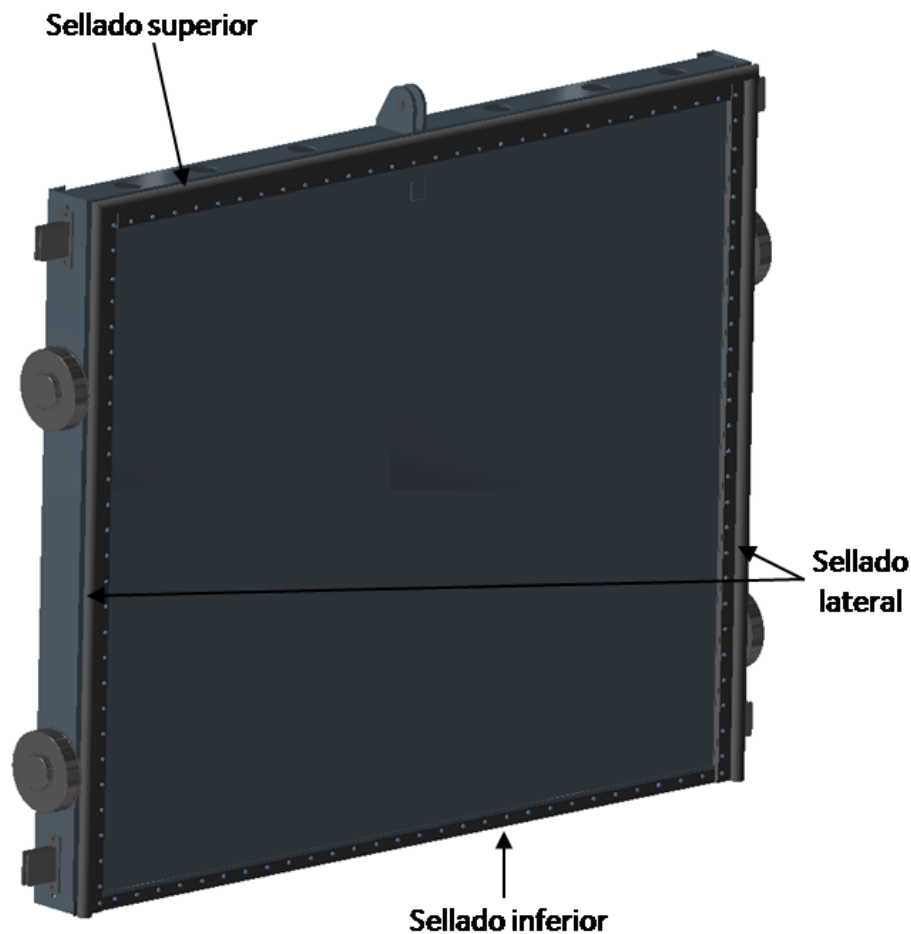


**Figura 6.41** Esquema de guiado en la compuerta mural

El tablero lleva incorporados los sistemas de cierre y estanquidad que se describen a continuación:

En los laterales, zona superior y solera de la cara aguas arriba del tablero se fijarán, mediante tornillos de acero inoxidable, bandas de neopreno, para producir por presión de agua la estanquidad del conjunto. En la parte superior y laterales del tablero las juntas serán de tipo nota musical y en la solera se dispondrá de un taco de neopreno.

En la figura 6.42 podemos ver la ubicación y la forma de la banda de neopreno y las juntas de tipo nota musical de las parte superior y los laterales del tablero.



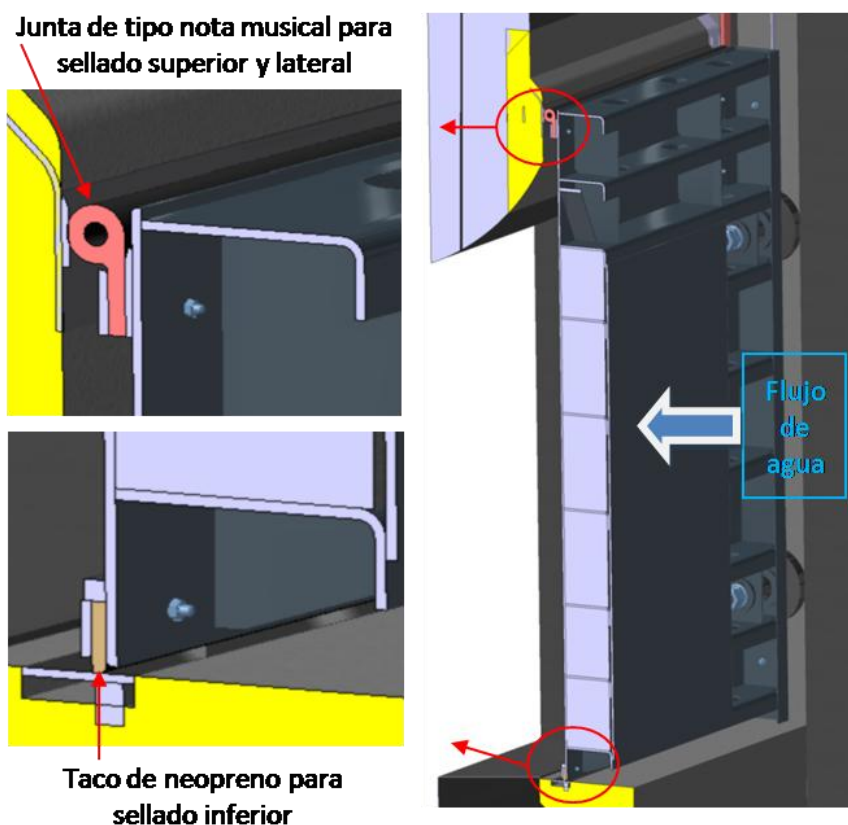
**Figura 6.42** Sellado a cuatro lados del tablero en la compuerta mural

El sellado lateral y superior es debido a que la fuerza ejercida por el agua sobre el tablero, provoca una presión de las bandas de neopreno en forma de nota musical sobre unas placas ubicadas en los hierros fijos.

El sellado inferior es debido a una combinación del peso del tablero y la fuerza que ejerce el agua sobre el tablero. Estas provocarán que el taco de neopreno ejerza una presión sobre la solera

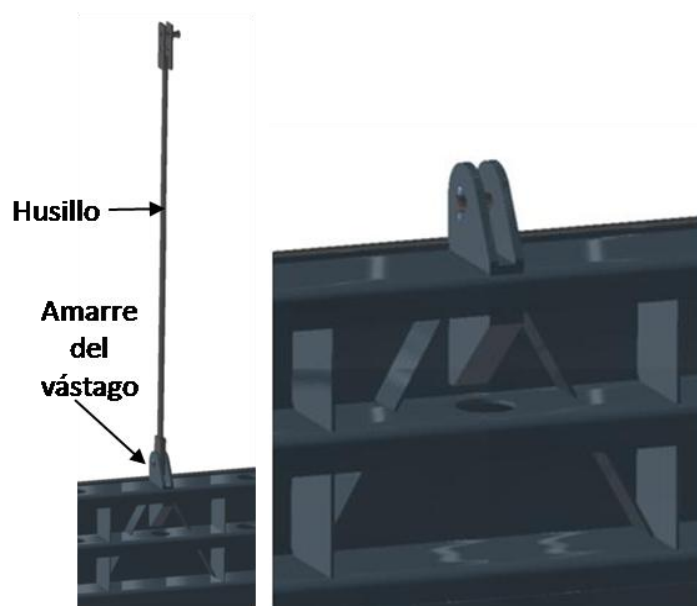
El esquema del sellado superior, inferior y lateral del tablero de la compuerta mural lo podemos ver en la figura 6.43





**Figura 6.43** Esquema de sellado superior, inferior y lateral del tablero compuerta mural

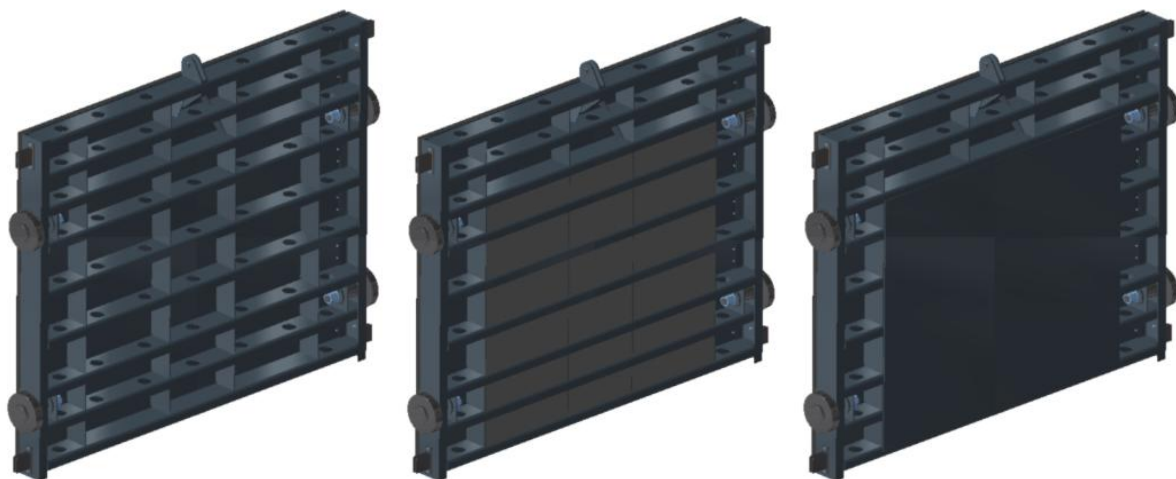
En la parte superior del tablero se dispone el amarre del vástago ampliamente dimensionado. La unión del tablero al mecanismo de accionamiento se realizará mediante husillo de acero inoxidable (fig.6.44).



**Figura 6.44** Orejeta para el amarre del vástago en la compuerta mural

Para que la compuerta baje por su propio peso es necesario la mayoría de las veces aumentarle el peso añadiendo cemento. Posteriormente se cierra la estructura con una chapa de acero para proteger el cemento de la acción del agua.

En la figura 6.45 podemos ver el tablero de la compuerta mural sin cemento, con cemento y con cemento y tapa..



Tablero sin cemento

Tablero con cemento

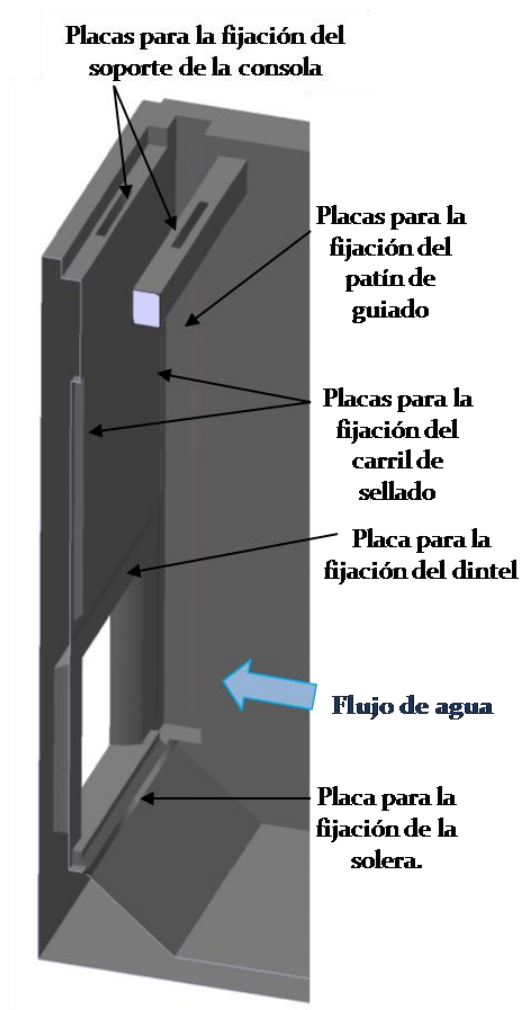
Tablero con cemento y tapa de acero

**Figura 6.45** Tablero compuerta mural con y sin cemento

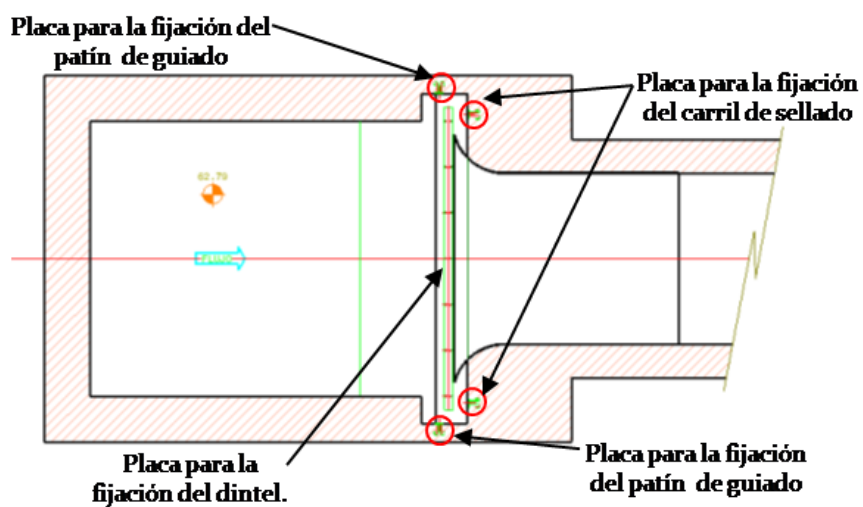
Todas las superficies de acero de la compuerta llevarán una protección anticorrosiva adecuada para las condiciones de servicio.

### 6.3.2.2 Hierros fijos.

Para la instalación de los hierros fijos al igual que para la compuerta canal, antes tenemos que definir la colocación de unas placas en el alojamiento de la compuerta (fig. 6.46, fig.6.47 y fig.6.49). Esas placas se fijarán al hueco de la compuerta mediante un hormigonado de primera fase que será realizado por la constructora.

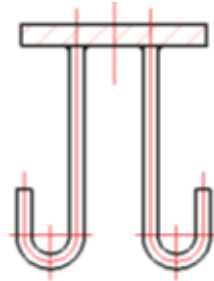


**Figura 6.46** Placas para la instalación de los hierros fijos en la compuerta canal

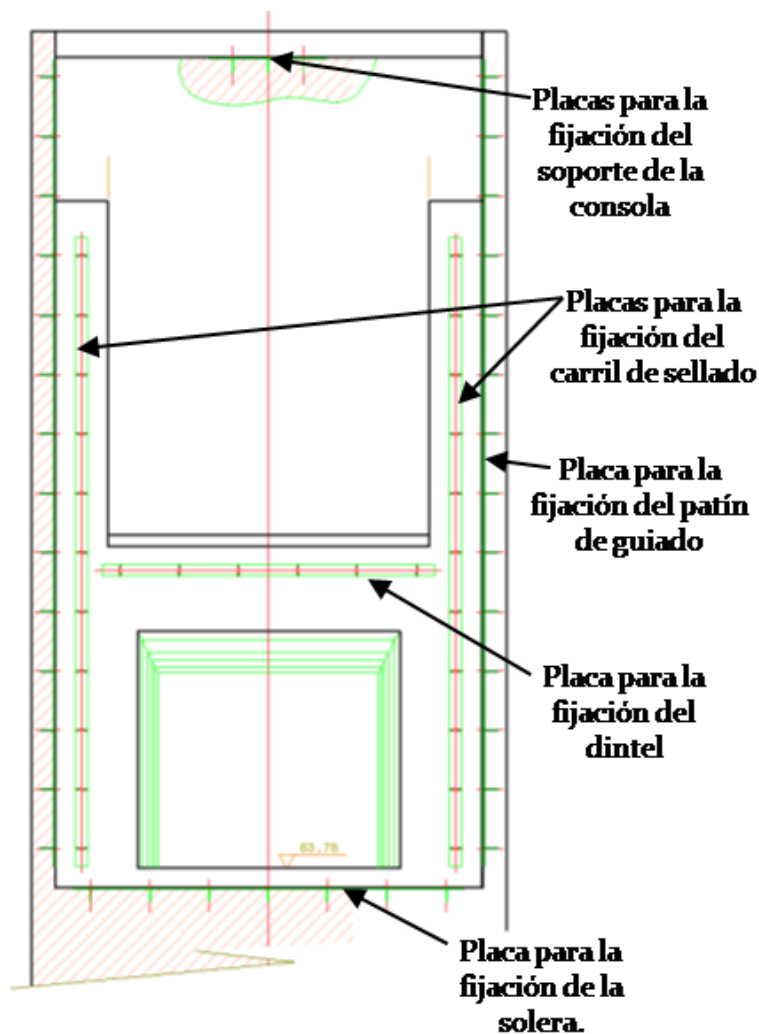


**Figura 6.47** Detalle de Ubicación de las placas para los hierros fijos compuerta mural

En la figura 6.48 podemos ver una sección de las placas donde podemos apreciar la placa con unas varillas en forma de J, que son las que quedarán dentro del hormigonado de primera fase.



**Figura 6.48** Detalle de la sección de las placas.

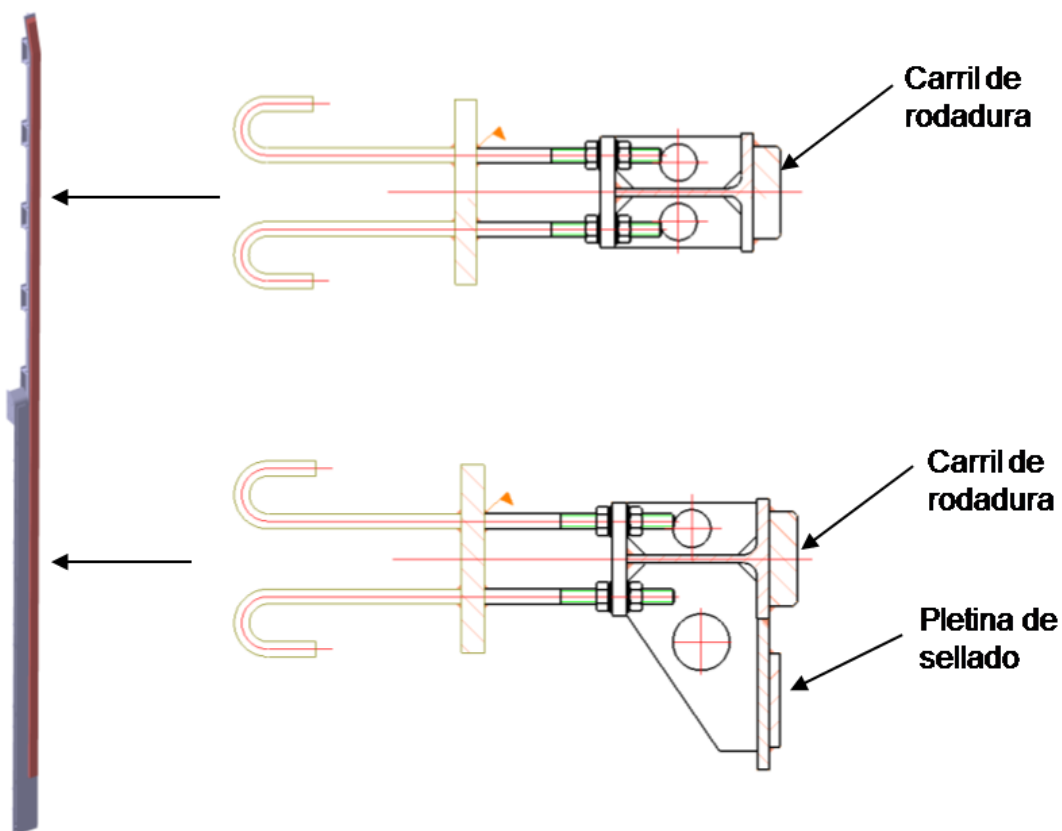


**Figura 6.49** Detalle de Ubicación de las placas para los hierros fijos compuerta mural

Los hierros fijos de la compuerta mural se componen de cinco partes:

- Dos montantes: en éstos irán dispuestos los carriles de rodadura por donde rodará la compuerta en su maniobra. Además en estos carriles se dispondrá también de las pistas donde se realizará el sellado lateral con las notas musicales.
- El umbral: con sus anclajes quedará embutido en el hormigón de la solera. Ahí se llevará a cabo el sellado inferior mediante taco de neopreno.
- Dintel: donde la compuerta, cuando se encuentra en su posición de cierre, realiza el sellado superior.
- Carriles guía: servirán de guía de la compuerta, evitando que la compuerta se salga de su posición correcta de funcionamiento.
- Cabezal: se encuentra en la coronación de la compuerta y en el que se soportará el mecanismo de accionamiento.

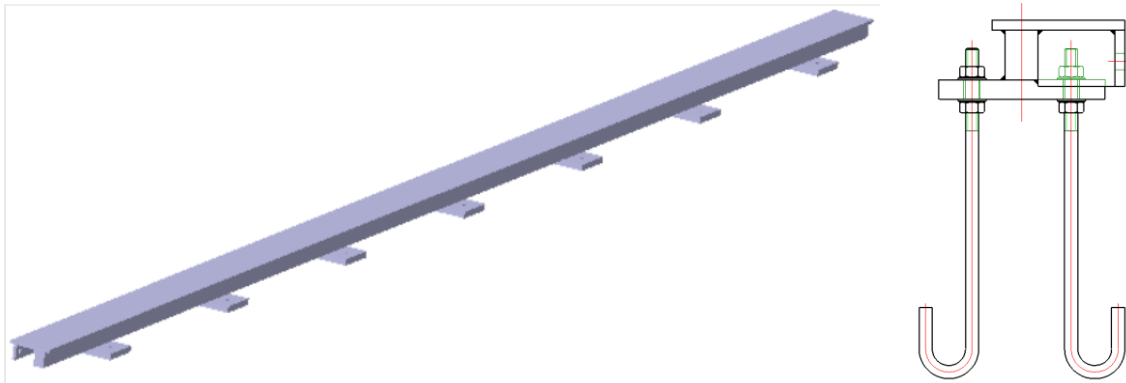
Los montantes están formados por un perfil en T de acero laminado embebido en el hormigón que constituyen los montantes verticales que sirven de carril de rodadura a la compuerta (fig.6.50).



**Figura 6.50** Montante lateral hierros fijos de la compuerta mural

Además de servir de carril de rodadura, los montantes disponen en su parte inferior de unas pletinas diseñadas para que, situada la compuerta en su posición de cierre, se realice el sellado mediante las piezas de neopreno ubicadas en el tablero (fig. 6.48).

El umbral, se trata de una estructura mecanosoldada que se ubicará en la solera. En él se realizará el sellado inferior cuando la compuerta se situé en su posición de cierre. En la figura 6.51 podemos ver una imagen del umbral y su sección principal.



**Figura 6.51** Umbral hierros fijos de la compuerta mural

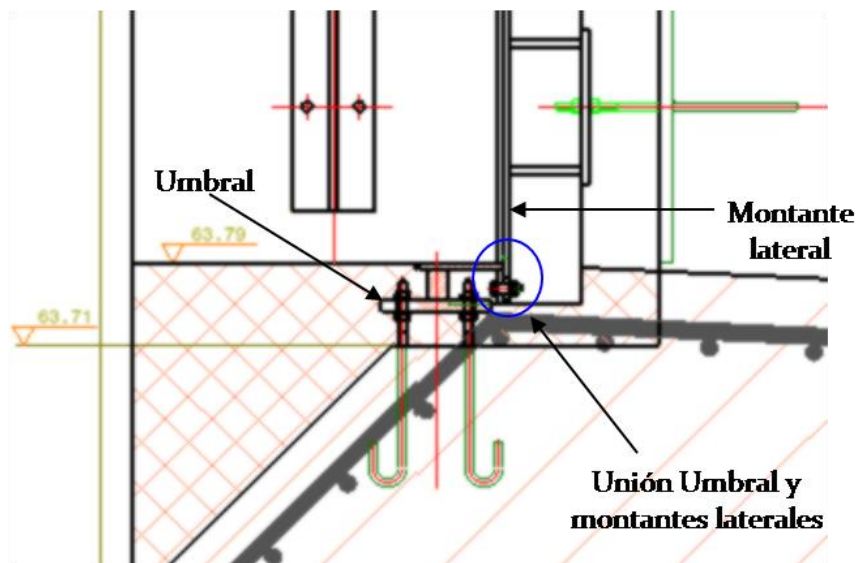
En el dintel se realizará el sellado superior cuando la compuerta se encuentre en la posición de cierre. . En la figura 6.52 podemos ver una imagen del dintel y su sección principal.



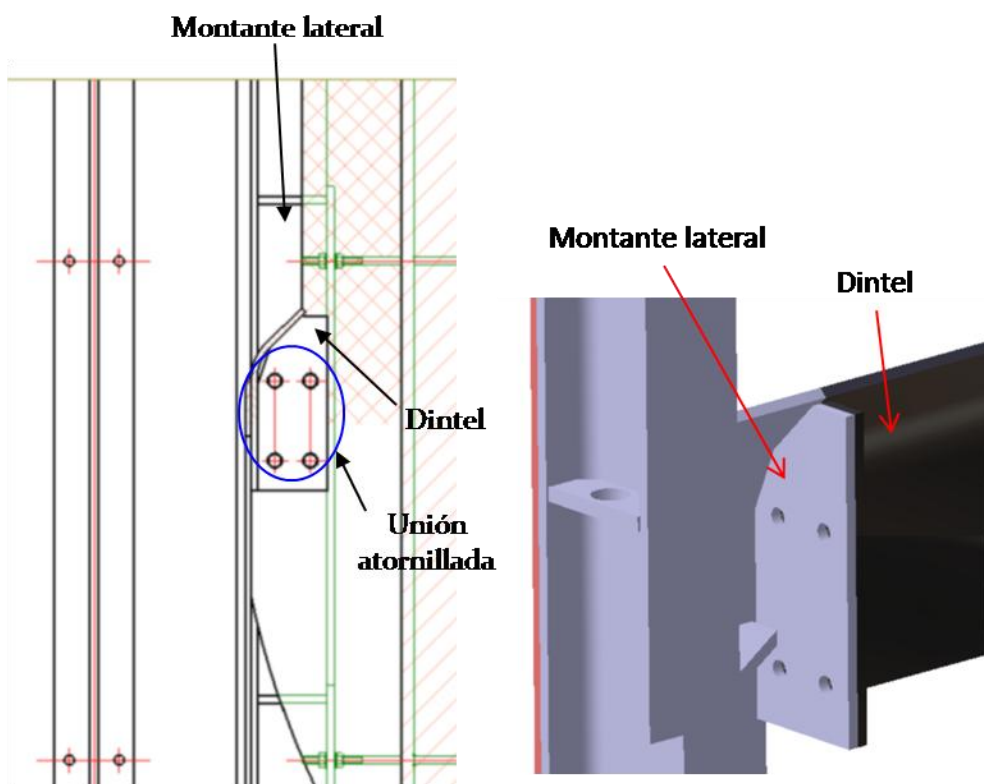
**Figura 6.52** Dintel hierros fijos de la compuerta mural.

Para coordinar los montantes laterales con el umbral y el dintel, uniremos ambos conjuntos mediante tortillería (fig.6.53 y fig.6.54).



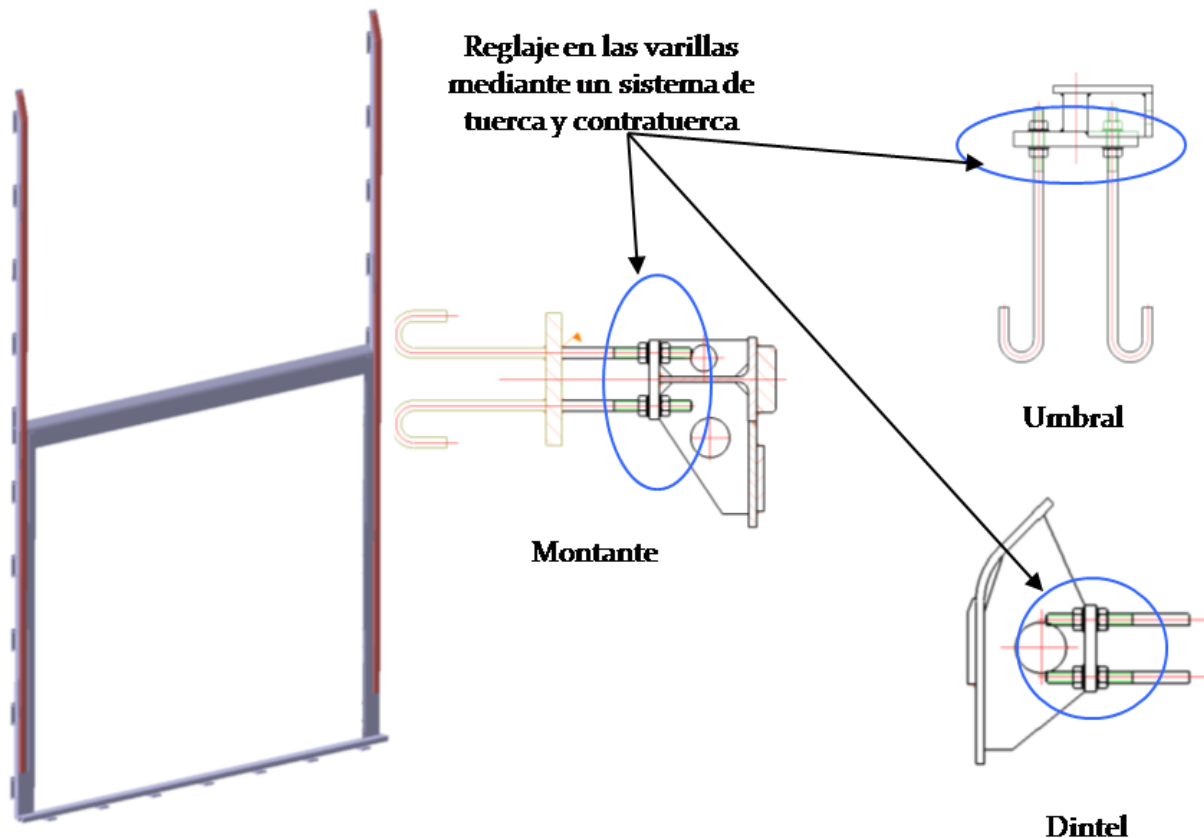


**Figura 6.53** Unión entre los montantes laterales y el umbral hierros fijos compuerta mural



**Figura 6.54** Unión entre los montantes laterales y el dintel hierros fijos compuerta mural

Mediante las varillas roscadas (fig. 6.55) instaladas en los montantes, el dintel y el umbral una vez soldado los conjuntos, podremos regular su posición para asegurar unas cotas necesarias para el funcionamiento de la compuerta.



**Figura 6.55** Varillas roscadas para el reglaje en los hierros fijos compuerta mural

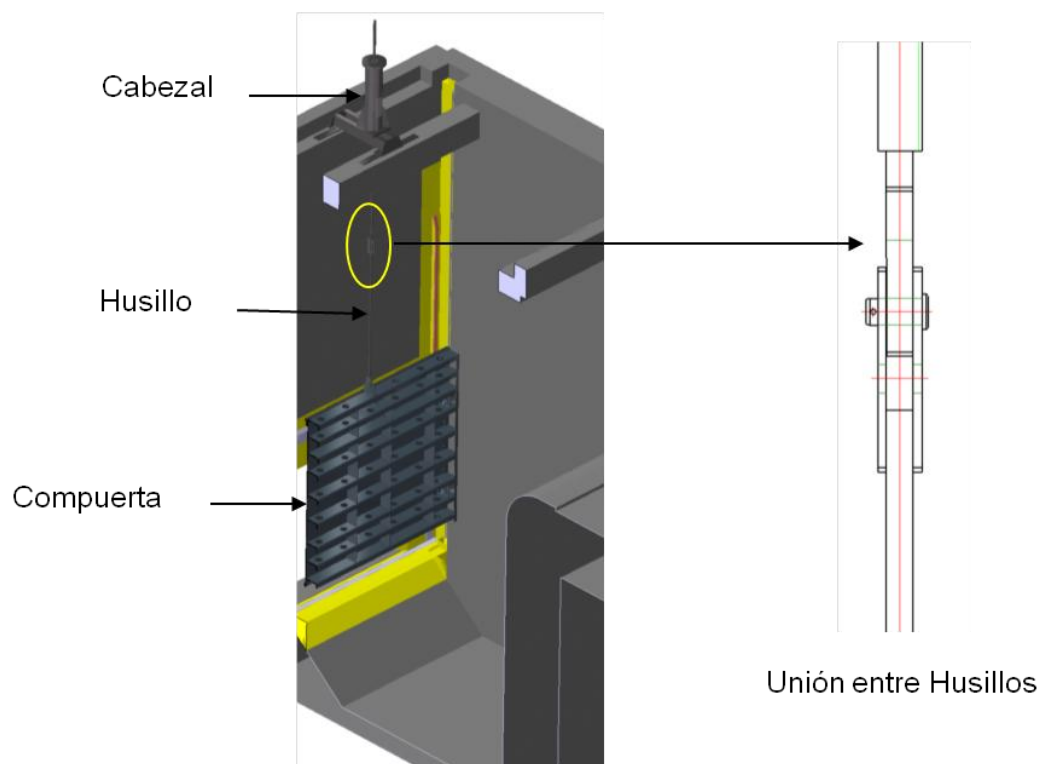
Una vez reglado todo el conjunto de hierros fijos y probados el correcto funcionamiento del tablero en ellos, se procederá al hormigonado de segunda fase para la consolidación del sistema.

Los hierros fijos están debidamente reforzados para transmitir las cargas al hormigón.

El cabezal, como vemos en la figura 6.56, al igual que en la compuerta canal, se encuentra en la parte superior del alojamiento de la compuerta mural.

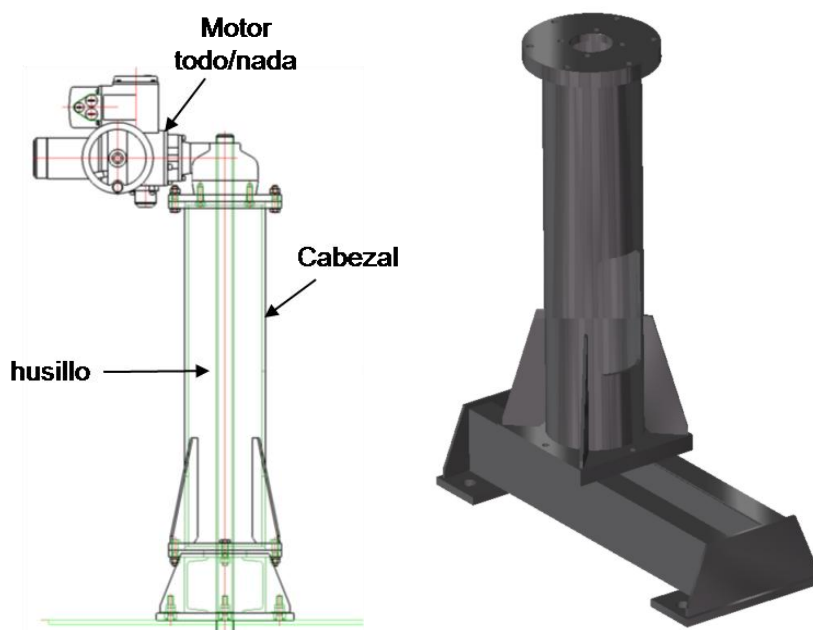
Su instalación será mediante varillas roscadas al igual que los montantes.

En la compuerta mural, para el accionamiento del tablero, contaremos con dos husillos. El primero unido al tablero y un segundo husillo que se encuentra dentro del accionamiento. Será necesario, como vemos en la figura 6.54, unir ambos para poder accionar el tablero de la compuerta.



**Figura 6.56** ubicación del cabezal de la compuerta mural.

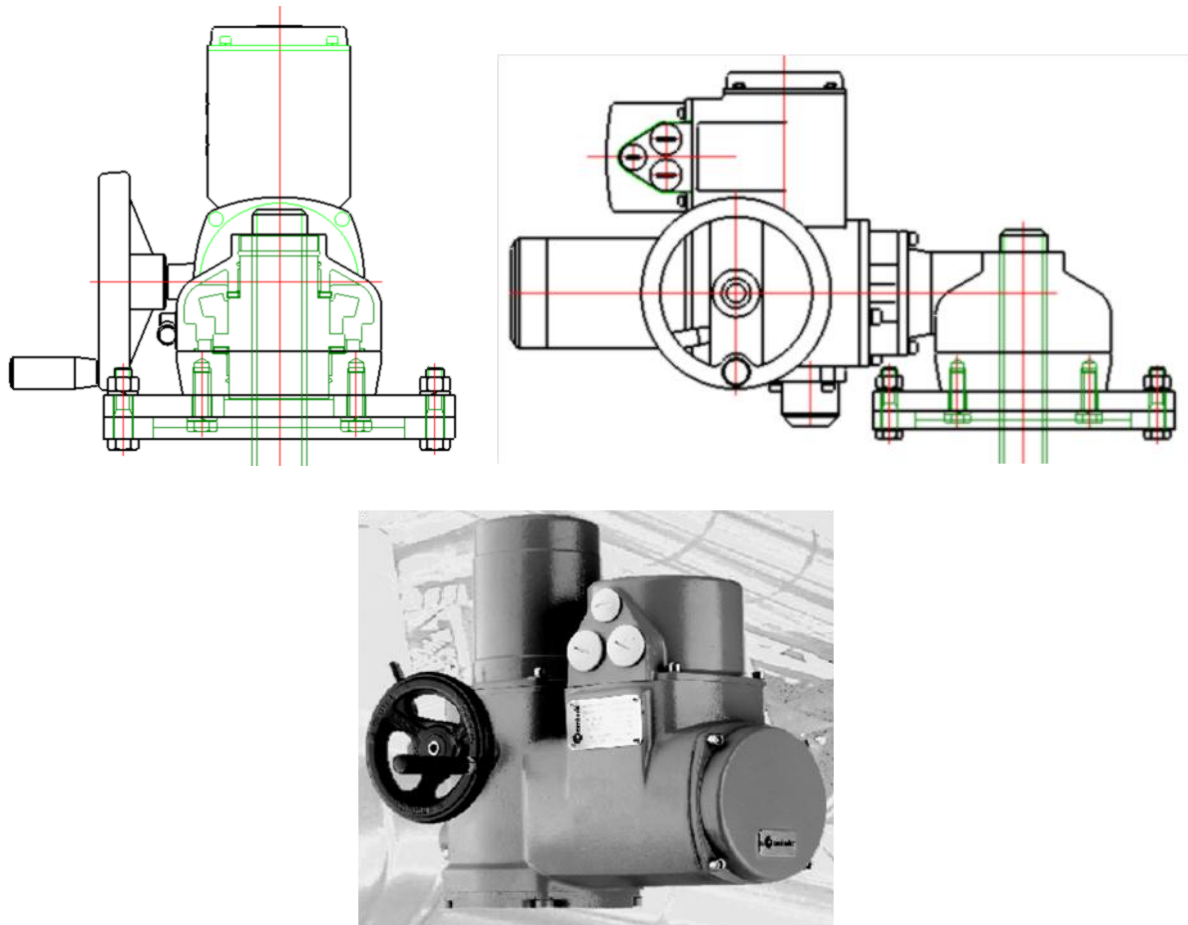
En él se instalará el mecanismo de accionamiento de la compuerta (fig. 6.57). Para subir y bajar la compuerta el motor accionará un husillo que estará unido a la compuerta.



**Figura 6.57** Cabezal para instalar el accionamiento de la compuerta mural.

### 6.3.2.3 ACCIONAMIENTO

Nosotros por especificación técnica, al igual que en la compuerta canal, instalaremos un actuador eléctrico **TODO-NADA** para maniobrar la compuerta (fig.6.58)



**Figura 6.58** Actuador eléctrico todo-nada compuerta mural.

### 6.3.3 Sistema de protección anticorrosivo.

Para la aplicación de un tratamiento de protección anticorrosivo diferenciaremos entre:

- Estructuras de acero en inmersión de agua permanente a las que hemos aplicado los siguientes tratamientos:
  - Chorreado al grado SA 2 ½
  - Una capa de imprimación epoxi rica en Zinc, con un espesor de película seca de 50 micras.
  - Tres capas de pintura de alquitrán epoxi, con un espesor total de película seca de 300 micras.
- Estructuras de acero expuestas a la atmósfera:

- Chorreado al grado SA 2 ½
- Una capa de imprimación clorocaucho pigmentada con fosfato de zinc, de 50 micras de espesor.
- Una capa intermedia de fondo de clorocaucho de alto espesor, de 80 micras de espesor.
- 100 micras Cloro caucho alcídico azul RAL 5015
- Estructuras de acero embebido en hormigón:
  - Limpieza con cepillo metálico chorreado de grado SA 2 ½.
  - Una capa de cemento látex.

Los materiales y las normas utilizadas son:

Para partes estructurales ver tabla 6.3.

Para Aceros inoxidable ver tabla 6.4

**Tabla 6.3** *Materiales y normas para partes estructurales compuerta mural*

<b>Norma</b>	<b>EN 10025</b>	<b>DIN</b>	<b>ASTM</b>
<b>Material</b>	S275JR	1.0044	A570 Gr40

**Tabla 6.4** *Aceros inoxidable compuerta mural*

<b>Norma</b>	<b>EN 10088</b>	<b>DIN</b>	<b>AISI</b>
<b>Material</b>	X2CrNi18-9	1.4307	304L
<b>Material</b>	X2CrNiMo17	1.4404	316L
<b>Material</b>	DUPLEX 2205	1.4462	A240

# Capítulo 7

## Validación de la solución propuesta

### 7.1. Introducción.

En este capítulo vamos a realizar, para cada compuerta, un cálculo preliminar de sus componentes básicos que nos servirán como punto de partida para el diseño inicial de la compuerta. Posteriormente, una vez diseñada cada compuerta, realizaremos un análisis mediante elementos finitos para comprobar que las compuertas se encuentran dentro de los límites estructurales establecidos.

En el cálculo inicial realizaremos un cálculo analítico de la resistencia del tablero, de los rodillos, la posición de los rodillos en la compuerta, estudiaremos el esfuerzo necesario para efectuar la elevación y cierre de las compuertas, el husillo y la tuerca para su elevación y calcularemos el par necesario que tiene que tener el actuador para poder elevar la compuerta.

Para el estudio mediante elementos finitos, usaremos el software Catia V5.

### 7.2. Análisis de la compuerta canal.

#### 7.2.1. Cálculos preliminares.

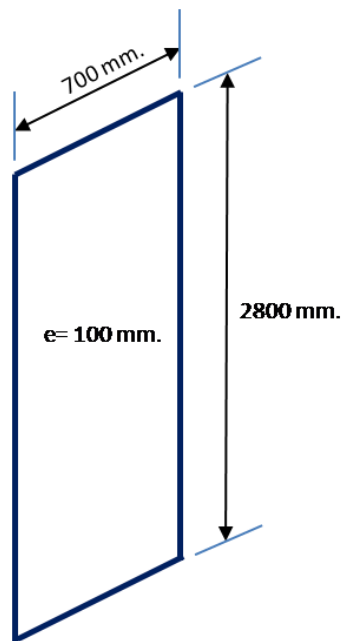
##### 7.2.1.1. Cálculo analítico del tablero.

Para el cálculo analítico del tablero, consideraremos que el tablero se encuentra sumergido en las condiciones de máxima carga. El cierre inferior de sellado de la compuerta



canal está situado a un nivel de 67.00 m. La cota máxima de agua se sitúa en 69.67 m. Esto nos da una diferencia de niveles de agua de 2.67 m.c.a.

Las dimensiones que vamos a tener en cuenta para el cálculo del tablero son las definidas en la figura 7.1:

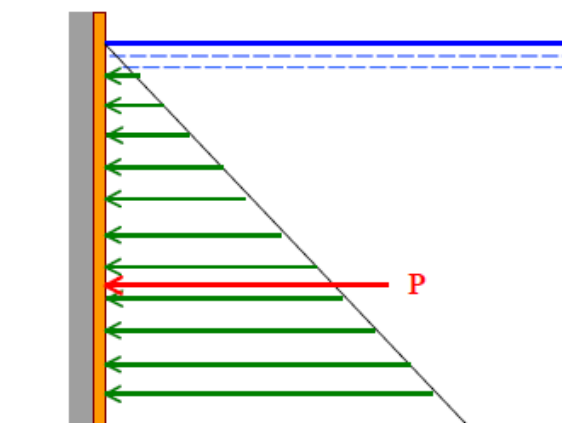


**Figura 7.1** Esquema de del tablero de la compuerta canal

La presión ejercida sobre el tablero (fig. 7.2).

$$P = \frac{F}{s}$$

Siendo: F: Fuerza uniformemente repartida, o bien, fuerza media que actúa sobre s.  
s: Superficie.

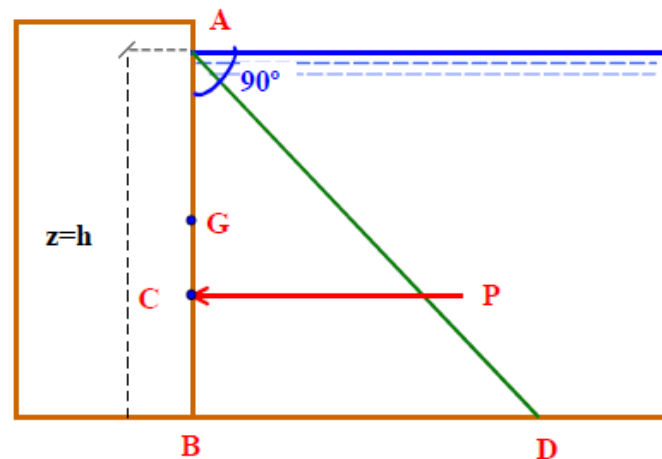


**Figura 7.2** Esquema de presiones hidrostáticas de la compuerta canal.

La presión hidrostática  $P$ , sobre el elemento de pared  $AB$  equivale al peso del prisma de líquido de base triangular  $ABD$  y altura  $b$ , aplicado en  $C$ , siendo

$$z_c = \frac{2}{3} h.$$

$$P = \frac{1}{2} g \rho h^2$$



**Figura 7.3** Esquema de presiones hidrostáticas de la compuerta canal.

Para la compuerta canal tendremos estos datos para realizar los cálculos:

- $h = 2,7\text{m}$
- $g\rho = \gamma = 9,8 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
- $b = 0,7\text{m}$

$$P_D = \frac{1}{2} g \rho h = \frac{1}{2} \times 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 2,7\text{m} = 1350 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} = 1350 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \times \frac{\text{m}^2}{10^4 \text{cm}^2} = 0,135 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Si tenemos en cuenta todo el tablero

$$\text{Empuje} = P_D \times \text{Area del tablero} = 0,135 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times 70\text{cm} \times 280\text{cm} = 2646\text{kg}.$$

- Para los cálculos posteriores, la carga que introduciremos será la presión hidráulica en  $\text{kg/cm}^2$  que debe soportar esta compuerta incrementada en 1.5.

$$P_D = 0,135 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times 1,5 = 0,2025 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

- Las dimensiones del tablero son de 70cm. x 280cm.
- El Peso estimado del tablero es de 400kg.

- Material tablero: acero al carbono S-275 JR.
  - $\sigma_b = 4100 \text{ Kg/cm}^2$ .
  - Límite elástico de  $2750 \text{ Kg/cm}^2$ .
  - $\sigma_{adm} = 19704 \text{ Kg/cm}^2$ .
  - $N_B = 1510 \text{ Kg/cm}^2$ .
  - $B_B = 1730 \text{ Kg/cm}^2$ .
- Tornillos:
  - DIN 933 métrica 8:  $\sigma_{adm} = 6400 \text{ Kg/cm}^2$
  - DIN 933 métrica 10:  $\sigma_{adm} = 9000 \text{ Kg/cm}^2$

### 7.2.1.2. Cálculo RODILLOS

El material de la placa en la que los rodillos ejercen presión en el funcionamiento es de acero inoxidable AISI-304 que tiene las siguientes propiedades:

- $\sigma_b = 5170 \text{ Kg/cm}^2$ .
- Límite elástico de  $2070 \text{ Kg/cm}^2$ .
- $\sigma_{adm} = 1652 \text{ Kg/cm}^2$ .

El material a utilizar en los rodillos será acero inoxidable F-114 que tiene las siguientes propiedades:

- $\sigma_b = 5500 \text{ Kg/cm}^2$ .
- Límite elástico de  $3500 \text{ Kg/cm}^2$ .
- $\sigma_{adm}$  se calcula según la DIN 1970
- $E = 210 \text{ GPa}$ .

$$\sigma_{adm} = 1,85 \times 0,85 \times \sigma_b \times 1,5$$

Donde:  $\sigma_b$  = carga de rotura.

**0,85** es debido al 15% por girar entre 300 y 2000 *veces/año*

**1,5** es el 50% por tener una relación de radio 15:1

$$\sigma_{adm} = 1,85 \times 0,85 \times \sigma_b \times 1,5 \approx 130 \text{ Kg/cm}^2$$

Para el valor en la rotura (NB), le sumamos el 12% con lo que nos queda  $\sigma_{adm} = 146 \text{ Kg/cm}^2$

Asumiremos la hipótesis de: compresión rodillo sobre placa. Calcularemos la presión máxima que soportan mediante la siguiente fórmula:

$$P_{max} = \sqrt{\frac{0,175 \times q_R \times E}{L \times R}}$$

Donde:

$q_R$  = Empuje que sufre cada rodillo

$E$  = Módulo de young del material.

$L$  = ancho del rodillo

$R$  = Radio del rodillo

Vamos a hacer los cálculos suponiendo que ponemos 4 rodillos.

$$\text{Empuje} = P_D \times \text{Area del tablero} = 0,2025 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times 70\text{cm} \times 280\text{cm}. = 3969\text{kg}.$$

$$q_R = \frac{\text{Empuje}}{n^\circ \text{ rodillos}} = \frac{3969 \text{ kg}}{4} = 992,25\text{kg}.$$

$$P_{max} = \sqrt{\frac{0,175 \times 992,25 \text{ kg} \times 21000 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}{L \times R}}$$

Como tenemos dos incógnitas para poder iterar, necesitamos dar dos valores iniciales para las ruedas. Por ejemplo:

$L= 30\text{mm}$  y  $R= 42\text{mm}$ .

$$P_{max} = \sqrt{\frac{0,175 \times 992,25\text{kg} \times 21000 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}{30\text{mm} \times 42\text{mm}}} = 53,8 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Ahora veamos si

$$P_{max} < \sigma_{adm}$$

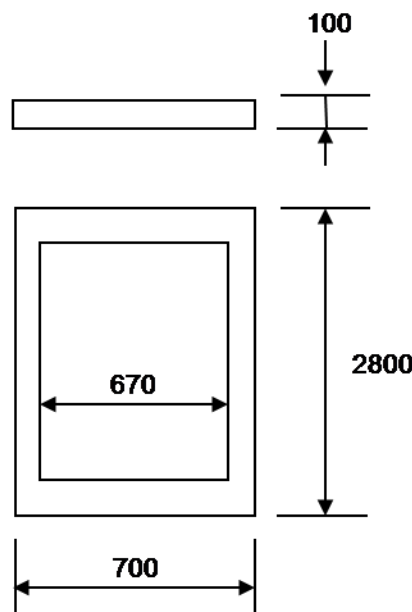
$$53,8 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} < 146 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Vemos que las ruedas podrían ser incluso más pequeñas. En principio podríamos poner 4 ruedas con un  $\varnothing=84\text{mm}$ . y una anchura  $L = 30\text{mm}$ . con un diámetro de eje  $d=18\text{mm}$ .

### 7.2.1.3. Cálculo ESFUERZO DE ELEVACIÓN y CIERRE.

Para calcular el esfuerzo de elevación de la compuerta tenemos que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Peso propio del tablero para el que haremos una simplificación según la figura 7,4.
- Rozamientos sellos.
- Rozamiento / Rodadura de los rodillos.
- Rozamiento guías laterales.
- Flotación.
- Esfuerzos hidrostáticos. (Down Pull).



**Figura 7.4** Esquema de la compuerta canal

#### Peso propio de la compuerta.

Estimamos que el peso de la compuerta para estas dimensiones es:

$$P_{\text{tablero}} \sim 400Kg.$$

#### Rozamientos sellos.

Suponemos un ancho de sellos de 2,7cm y un sellado a 3 lados ( 2 laterales y uno inferior), entonces el Empuje por rozamiento es:

$$E_s = a \times [(2 \times P_D \times h) + (P_D \times b)]$$

Donde:  $a = \text{ancho del sello} = 2,7\text{cm}.$   
 $b = \text{longitud sello inferior} = 70\text{cm}.$   
 $h = \text{longitud sell lateral} = 280\text{cm}.$   
 $P_D = \text{presión de diseño} = 0,27 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$

$$E_s = 326,84\text{kg}$$

El material del sello será de neopreno, por lo que el rozamiento máximo a aplicar será de 0,8.

$$E_{\text{sellos}} = 0,8 \times 326,84\text{kg} = \mathbf{261,47\text{kg}}.$$

### Rozamiento por rodadura.

Utilizaremos la siguiente fórmula para su cálculo:

$$F_{Ru} = \frac{q_R}{D/2} \times (\mu_1 + \mu_2 \times d/2)$$

Donde:

$$q_R = \text{empuje por rueda} = 937,676\text{kg}$$

$$D = \text{diámetro rueda} = 84\text{mm}.$$

$$\mu_1 = \text{coeficiente de rodadura rueda - carril} = 0,05$$

$$\mu_2 = \text{coeficiente de rodadura rodamiento - eje} = 0,08$$

$$d = \text{diámetro eje interior} = 18\text{mm}.$$

$$F_{Ru} = 17,2\text{kg por rueda}$$

$$F_R = F_{Ru} \times 4 \text{ ruedas} = \mathbf{68,763 \text{ kg}}.$$

### Rozamiento guías laterales.

Sólo estará ejerciendo rozamiento a la misma vez, una guía lateral con lo que:

$$F_{RG} = 0,2 \times \mu \times P_T = 0,2 \times 0,4 \times 400\text{kg} = 32\text{Kg}.$$

### Flotación.

$$F_F = \frac{\text{Empuje hidrostático}}{\text{Peso específico}} \times P_T = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \times 400\text{kg} = 51\text{kg}.$$



Calcularemos ahora el esfuerzo de elevación con el 25% de seguridad.

$$\text{Esfuerzo de ELEVACIÓN} = 1,25 \times (P_T + E_{\text{sellos}} + F_R + F_{RG} + F_F) = 1017 \text{ kg.}$$

Calcularemos ahora el esfuerzo de cierre con el 25% de seguridad.

$$\text{Esfuerzo de CIERRE} = 1,25 \times (E_{\text{sellos}} + F_R + F_{RG} + F_F - P_T) = 16,54 \text{ kg}$$

Según lo calculado deberíamos añadir a la compuerta 16,54kg. de hormigón para que la compuerta caiga por su propio peso ya que no se puede hacer esfuerzo de cierre debido al tipo de vástago.

Ahora el esfuerzo de elevación necesario para la compuerta con el hormigón añadido es de 1033kg.

#### 7.2.1.4. Cálculo HUSILLO y TUERCA

Las características del husillo y la tuerca a utilizar son:

- ROSCA : Tr 36x6
- AVANCE: 6mm.
- h: 3,25mm.
- rm: 16,50mm.
- Longitud tuerca: 100mm.
- $n = \text{N}^\circ \text{ vueltas de rosca sometidas a carga} = \frac{\text{Long tuerca}}{\text{avance}} = 17$

Ahora vamos a calcular la  $P_{\text{contacto}}$  que soporta el husillo y la tuerca para comprobar que soporta la tensión en la parte de la rosca que se encuentra en contacto.

$$P_{\text{contacto}} = \frac{E_{\text{elevación}}(N)}{2 \times \pi \times n \times rm(mm) \times h(mm)} = 3 \frac{N}{mm^2}$$

$$P_{\text{contacto}} < P_{\text{admisible}}$$

$$3 \frac{N}{mm^2} < 20 \frac{N}{mm^2}$$

#### 7.2.1.5. Cálculo PAR ACTUADOR.

Para hacer la elección del actuador adecuado, necesitamos calcular el par necesario para elevar la compuerta. Utilizaremos la siguiente fórmula:

$$T(N \times m) = E_{\text{elevación}}(N) \times rm \times \frac{tg\alpha + \frac{f}{\cos\theta_n}}{1 - \frac{f \times tg\alpha}{\cos\theta_n}} + r_c \times f_c$$

Sabemos que:

- $E_e$  con hormigón = 1438kg.
- $r_m$ : 16,50mm.
- $\tan \alpha = 0,058$
- $\cos \theta_n = 0,966$  con  $\theta_n = 15^\circ$
- $f$  (0,125 mecaniz. promedia) = 0,169 con un 35% de coeficiente de arranque.
- $f_c$ ,  $r_c$  son despreciables por rodamiento.

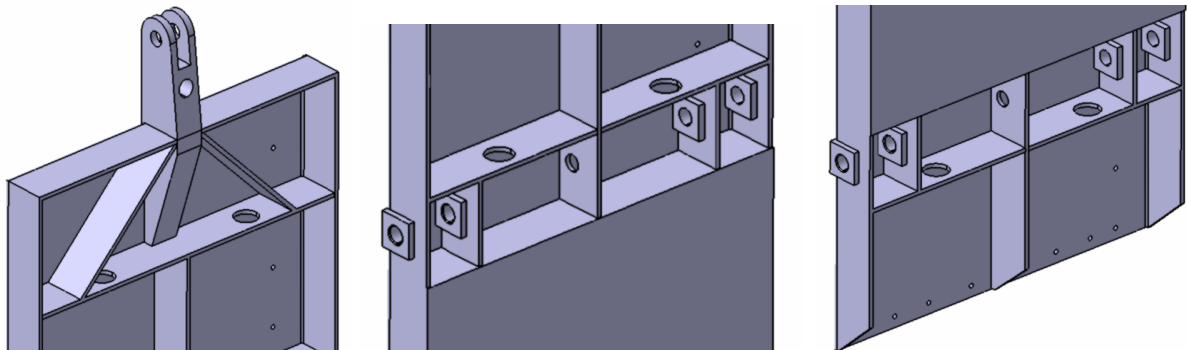
$$T (N \times m) = 40,2Nm$$

### 7.2.2. Cálculo mediante elementos finitos.

Una vez realizado los cálculos preliminares realizaremos un análisis más preciso empleando el criterio de Von Mises con Catia V5.

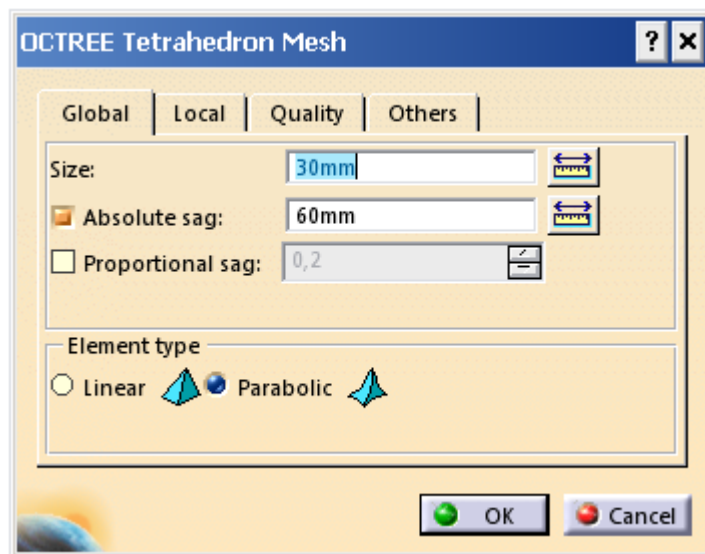
Realizaremos un modelo simplificado del tablero para el análisis, eliminando o cambiando elementos poco útiles o cuyo grado de detalle no sea necesario (fig. 7.5):

- No representamos los rodillos ni sus ejes.
- No se modelaron las soldaduras, hemos supuesto todas las uniones perfectas.
- Hemos quitado las juntas de estanqueidades y su tornillería.
- Hemos quitado el husillo.



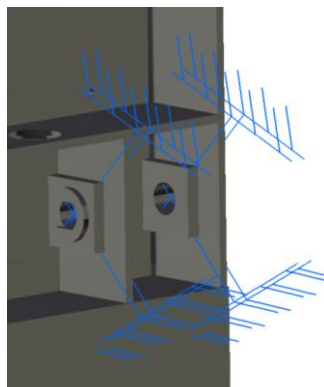
**Figura 7.5** Modelo simplificado de la compuerta canal.

El tamaño de malla se ha elegido asegurando que sea lo suficientemente pequeña como para obtener un resultado adecuadamente riguroso, y no está tan definida como para que la capacidad de procesamiento del ordenador sea limitada y tarde en resolver el modelo (fig. 7.6).



**Figura 7.6** Mallado compuerta canal

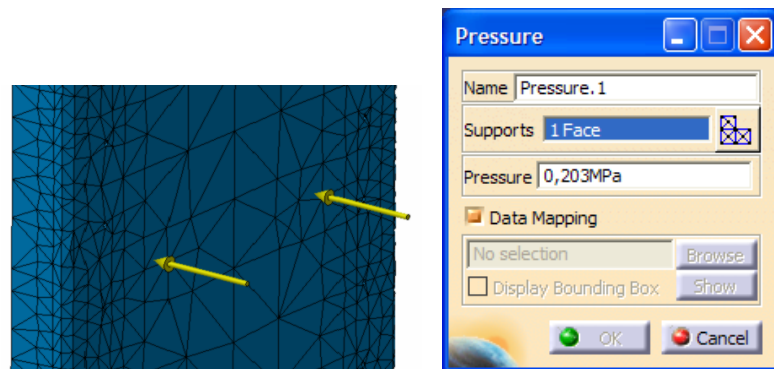
Para simular el apoyo de los rodillos en los carriles de rodadura hemos añadido restricciones en los apoyos de sus ejes como podemos apreciar en la figura 7.6 y 7.7.



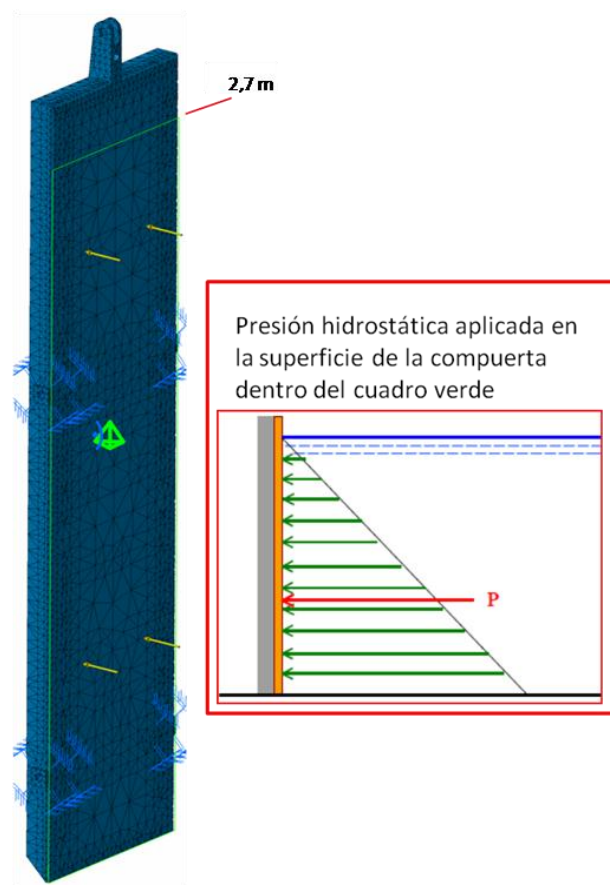
**Figura 7.7** Restricciones compuerta canal

La compuerta canal está situada a un nivel de 67.00 m, de tal forma que tienen una cota máxima de agua de 69.87 m, esto nos da una diferencia de niveles de agua de 2.67 m.c.a.

La carga que introduciremos será la presión hidráulica que debe soportar esta compuerta incrementada en 1.5 ( $P_D$ : **0,2025 kg/cm<sup>2</sup>**). La presión hidráulica de será aplicada como vemos en la figura 7.8 y 7.9. El valor que introduciremos en CATIA para la presión será de **202,5 N/ m<sup>2</sup>**.

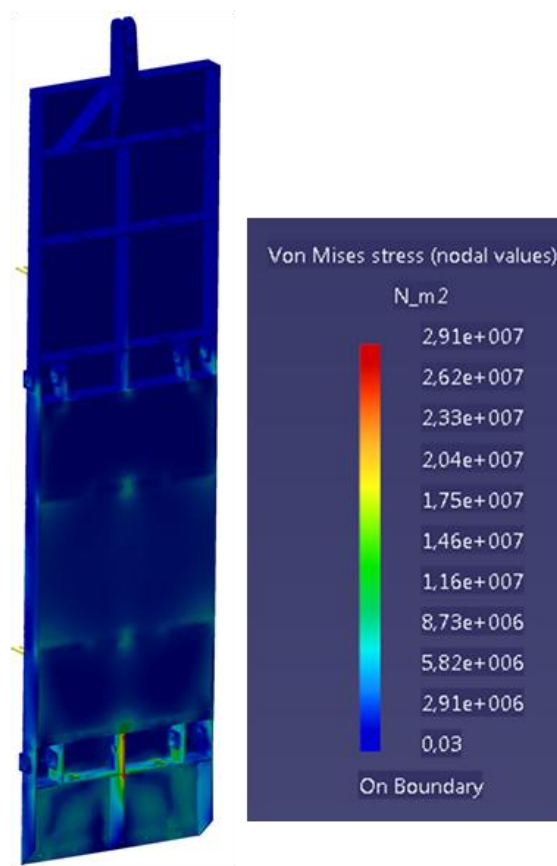


**Figura 7.8** Cargas compuerta canal



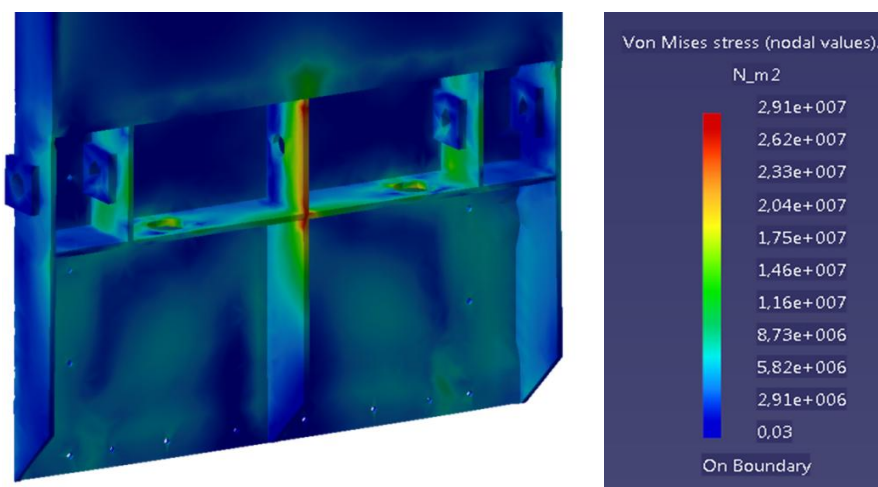
**Figura 7.9** Cargas compuerta canal

En la figura 7.10 se puede ver el estado de esfuerzos resultante sobre el tablero de la compuerta.



**Figura 7.10** Estado de esfuerzos en la compuerta canal

Como podemos observar, encontramos los valores máximos de tensión 29,1 MPa. localizado principalmente en la zona que tenemos los rodillos inferiores de la compuerta. Más concretamente como podemos observar en la figura 7.11



**Figura 7.11** Tensión máxima zona de los rodillos inferiores tablero de la compuerta canal.

En el modelo de elementos finitos creado, obtenemos un valor máximo de tensiones igual a 29,1 MPa. Teniendo como tensión admisible del acero S275JR igual a 275 MPa, se obtiene finalmente un factor de reserva de 9,45.

### 7.3. Análisis de la compuerta mural.

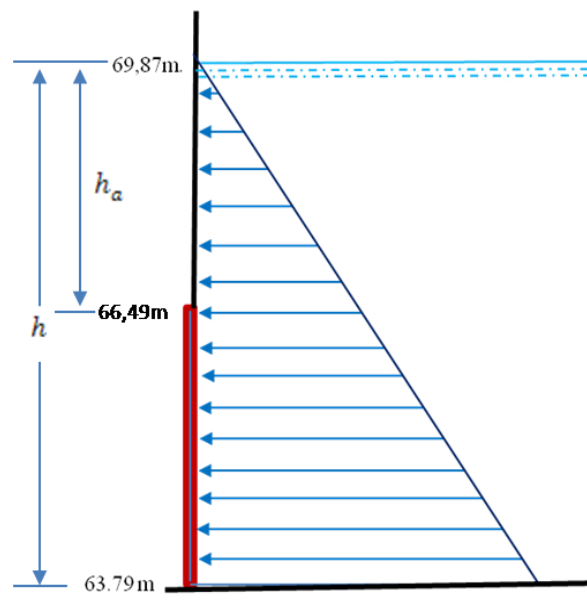
#### 7.3.1. Cálculos preliminares compuerta mural.

##### 7.3.1.1. Introducción.

- El cierre inferior de sellado de la compuerta mural está situado a un nivel de 63.79 m. La cota máxima de agua se situa en 69.87 m. Esto nos da una diferencia de niveles de agua de 6. m.c.a.

**Carga máxima de agua: 6,08 m.c.a.**

La presión hidráulica sigue el siguiente gráfico de la figura 7.12 y su correspondiente formula.



**Figura 7.12** Cargas compuerta mural

$$P = \frac{1}{2} g\rho(h^2 - h_a^2)$$

- $h = 6,08\text{m}$
- $h_a = 3,38\text{m}$
- $g\rho = \gamma = 9,8 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
- $b = 0,7\text{m}$

$$P_D = \frac{1}{2} g \rho h = \frac{1}{2} \times 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 6,08\text{m} = 3040 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} = 3040 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \times \frac{\text{m}^2}{10^4 \text{cm}^2} = 0,304 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Si tenemos en cuenta todo el tablero

$$\text{Empuje} = P_D \times \text{Area del tablero} = 0,304 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times 275\text{cm} \times 315\text{cm}. = 26334 \text{ kg.}$$

- Para los cálculos posteriores, la carga que introduciremos será la presión hidráulica en **kg/cm<sup>2</sup>** que debe soportar esta compuerta incrementada en 1.5.

$$P_D: 3,04 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times 1,5 = 0,456 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

- Las dimensiones del tablero son de 2750mm. x 3150mm.
- El Peso estimado del tablero es de 1300kg.
- Material tablero: acero al carbono S-275 JR.
  - $\sigma_b = 4100 \text{ Kg/cm}^2$ .
  - Límite elástico de 2750 Kg/cm<sup>2</sup>.
  - $\sigma_{adm} = 19704 \text{ Kg/cm}^2$ .
  - $N_B = 1510 \text{ Kg/cm}^2$ .
  - $B_B = 1730 \text{ Kg/cm}^2$ .
- Tornillos:
  - DIN 933 métrica 8:  $\sigma_{adm} = 6400 \text{ Kg/cm}^2$
  - DIN 933 métrica 10:  $\sigma_{adm} = 9000 \text{ Kg/cm}^2$

### 7.3.1.2. Cálculo RODILLOS

El material de la placa en la que los rodillos ejercen presión en el funcionamiento es de acero inoxidable AISI-304 que tiene las siguientes propiedades:

- $\sigma_b = 5170 \text{ Kg/cm}^2$ .
- Límite elástico de 2070 Kg/cm<sup>2</sup>.
- $\sigma_{adm} = 1652 \text{ Kg/cm}^2$ .

El material a utilizar en los rodillos será acero inoxidable F-114 que tiene las siguientes propiedades:



- $\sigma_b$  5500 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Límite elástico de 3500 Kg/cm<sup>2</sup>.
- $\sigma_{adm}$  se calcula según la DIN 1970
- $E=210$  GPa.

$$\sigma_{adm} = 1,85 \times 0,85 \times \sigma_b \times 1,5$$

Donde:  $\sigma_b$  = carga de rotura.

**0,85** es debido al 15% por girar entre 300 y 2000 *veces/año*

**1,5** es el 50% por tener una relación de radio 15:1

$$\sigma_{adm} = 1,85 \times 0,85 \times \sigma_b \times 1,5 \approx 130 \text{ Kg/cm}^2$$

Por NB (DIN 19704) le sumamos el 12% con lo que nos queda

$$\sigma_{adm} = 146 \text{ Kg/cm}^2$$

Asumiremos la hipótesis de: compresión rodillo sobre placa. Calcularemos la presión máxima que soportan mediante la siguiente fórmula:

$$P_{max} = \sqrt{\frac{0,175 \times q_R \times E}{L \times R}}$$

Donde :

$q_R$  = Empuje que sufre cada rodillo

$E$  = Módulo de young del material.

$L$  = ancho del rodillo

$R$  = Radio del rodillo

Vamos a hacer los cálculos suponiendo que ponemos 4 rodillos.

$$\text{Empuje} = P_D \times \text{Area del tablero} = 0,456 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times 315\text{cm} \times 275\text{cm}. = 39501\text{kg}.$$

$$q_R = \frac{\text{Empuje}}{n^{\circ} \text{ rodillos}} = \frac{39501 \text{ kg}}{4} = 9875,25 \text{ kg}.$$

$$P_{max} = \sqrt{\frac{0,175 \times 9875,25 \text{ kg} \times 21000 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}{L \times R}}$$

Como tenemos dos incógnitas para poder iterar, necesitamos dar dos valores iniciales para las ruedas. Por ejemplo:

L= 60mm y R= 143mm.

$$P_{max} = \sqrt{\frac{0,175 \times 9875,25 \text{ kg} \times 21000 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}{60 \text{ mm} \times 143 \text{ mm}}} = 65,036 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Ahora veamos si

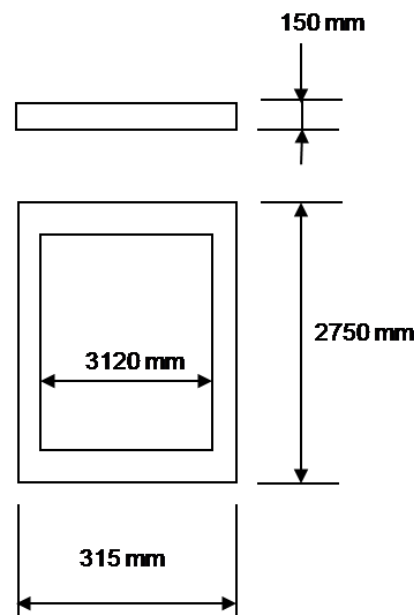
$$P_{max} < \sigma_{adm} \quad 65,036 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} < 146 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Vemos que las ruedas podrían ser incluso más pequeñas. En principio podríamos poner 4 ruedas con un Ø=286mm. y una anchura L = 60mm. con un diámetro de eje d=100mm.

### 7.3.1.3. Cálculo ESFUERZO DE ELEVACIÓN y CIERRE.

Para calcular el esfuerzo de elevación de la compuerta tenemos que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Peso propio del tablero para el que haremos una simplificación según la figura 7.13.
- Rozamientos sellos.
- Rozamiento / Rodadura de los rodillos.
- Rozamiento guías laterales.
- Flotación.
- Esfuerzos hidrostáticos. (Down Pull).



**Figura 7.13** Esquema de la compuerta mural

### Peso propio del tablero.

Estimamos que el peso del tablero para estas dimensiones es:

$$P_{\text{tablero}} \sim 1300Kg.$$

### Rozamientos sellos.

Suponemos un ancho de sellos de 2,7cm y un sellado a 4 lados ( 2 laterales, uno inferior y otro superior), entonces el Empuje por rozamiento es:

$$E_s = a \times [(2 \times P_D \times h) + 2 \times (P_D \times b)]$$

Donde:  $a = \text{ancho del sello} = 2,7cm.$   
 $b = \text{longitud sello inferior} = 310cm.$   
 $h = \text{longitud sell lateral} = 280cm.$   
 $P_D = \text{presión de diseño} = 0,27 \frac{Kg}{cm^2}$

$$E_s = 1919,35kg$$

El material del sello será de neopreno, por lo que el rozamiento máximo a aplicar será de 0,8.

$$E_{\text{sellos}} = 0,8 \times 1919,35kg = 1535,5kg.$$

**Rozamiento por rodadura.**

Utilizaremos la siguiente fórmula para su cálculo:

$$F_{Ru} = \frac{q_R}{D/2} \times (\mu_1 + \mu_2 \times d/2)$$

Donde:

$$q_R = \text{empuje por rueda} = 19491 \text{ kg}$$

$$D = \text{diámetro rueda} = 286 \text{ mm.}$$

$$\mu_1 = \text{coeficiente de rodadura rueda - carril} = 0,05$$

$$\mu_2 = \text{coeficiente de rodadura rodamiento - eje} = 0,08$$

$$d = \text{diámetro eje interior} = 100 \text{ mm.}$$

$$F_{Ru} = 621,5 \text{ kg por rueda}$$

$$F_R = F_{Ru} \times 4 \text{ ruedas} = \mathbf{2486 \text{ kg.}}$$

**Rozamiento guías laterales.**

Sólo estará ejerciendo rozamiento a la misma vez, una guía lateral con lo que:

$$F_{RG} = 0,2 \times \mu \times P_T = 0,2 \times 0,4 \times 1300 \text{ kg.} = 104 \text{ Kg.}$$

**Flotación.**

$$F_F = \frac{\text{Empuje hidrostático}}{\text{Peso específico}} \times P_T = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \times 1300 \text{ kg} = 165,6 \text{ kg.}$$

Calcularemos ahora el esfuerzo de elevación con el 25% de seguridad.

$$\text{Esfuerzo de ELEVACIÓN} = 1,25 \times (P_T + E_{sellos} + F_R + F_{RG} + F_F) = \mathbf{4451,25 \text{ kg.}}$$

Calcularemos ahora el esfuerzo de cierre con el 25% de seguridad.

$$\text{Esfuerzo de CIERRE} = 1,25 \times (E_{sellos} + F_R + F_{RG} + F_F - P_T) = \mathbf{1126.611 \text{ kg}}$$

Según lo calculado deberíamos añadir a la compuerta 1125kg. de hormigón para que la compuerta caiga por su propio peso ya que no se puede hacer esfuerzo de cierre debido al tipo de vástago.

Ahora el esfuerzo de elevación necesario para la compuerta con el hormigón añadido es de 5578kg.

#### 7.3.1.4. Cálculo HUSILLO y TUERCA

Las características del husillo y la tuerca a utilizar son:

- ROSCA : Tr 50x8
- AVANCE: 8mm.
- h: 4 mm.
- rm: 23 mm.
- Longitud tuerca: 100mm.
- $n = \text{N}^\circ \text{ vueltas de rosca sometidas a carga} = \frac{\text{Long tuerca}}{\text{avance}} = 13$

Ahora vamos a calcular la  $P_{\text{contacto}}$  que soporta el husillo y la tuerca para comprobar que soporta la tensión en la parte de la rosca que se encuentra en contacto.

$$P_{\text{contacto}} = \frac{E_{\text{elevación}}(N)}{2 \times \pi \times n \times rm(mm) \times h(mm)} = 8 \frac{N}{mm^2}$$

$$P_{\text{contacto}} < P_{\text{admisible}}$$

$$8 \frac{N}{mm^2} < 20 \frac{N}{mm^2}$$

#### 7.3.1.5. Cálculo PAR ACTUADOR.

Para hacer la elección del actuador adecuado, necesitamos calcular el par necesario para elevar la compuerta. Utilizaremos la siguiente fórmula:

$$T(N \times m) = E_{\text{elevación}}(N) \times rm \times \frac{tg\alpha + \frac{f}{\cos\theta_n}}{1 - \frac{f \times tg\alpha}{\cos\theta_n}} + r_c \times f_c$$

Sabemos que:

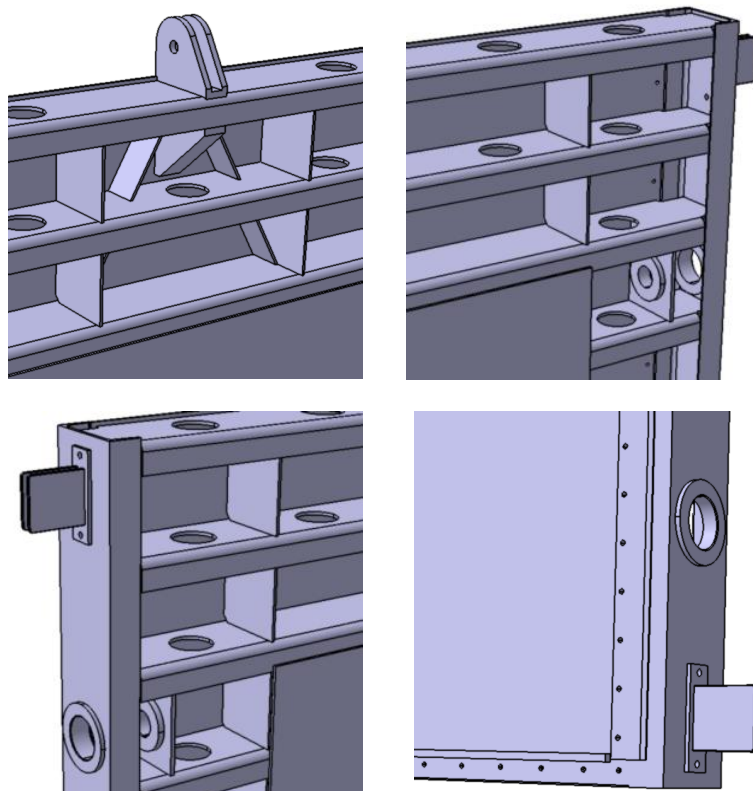
- $E_e$  con hormigón = 9717kg.
- $r_m$ : 23mm.
- $\tan\alpha=0,058$
- $\cos\theta_n=0,966$  con  $\theta_n=15^\circ$
- $f$  (0,125 mecaniz. promedia) = 0,169 con un 35% de coeficiente de arranque.
- $f_c$ ,  $r_c$  son despreciables por rodamiento.

$$T (N \times m) = 298Nm$$

### 7.3.2. Cálculo mediante elementos finitos.

Una vez realizado los cálculos preliminares realizaremos un análisis más preciso empleando el criterio de Von Mises con Catia V5.

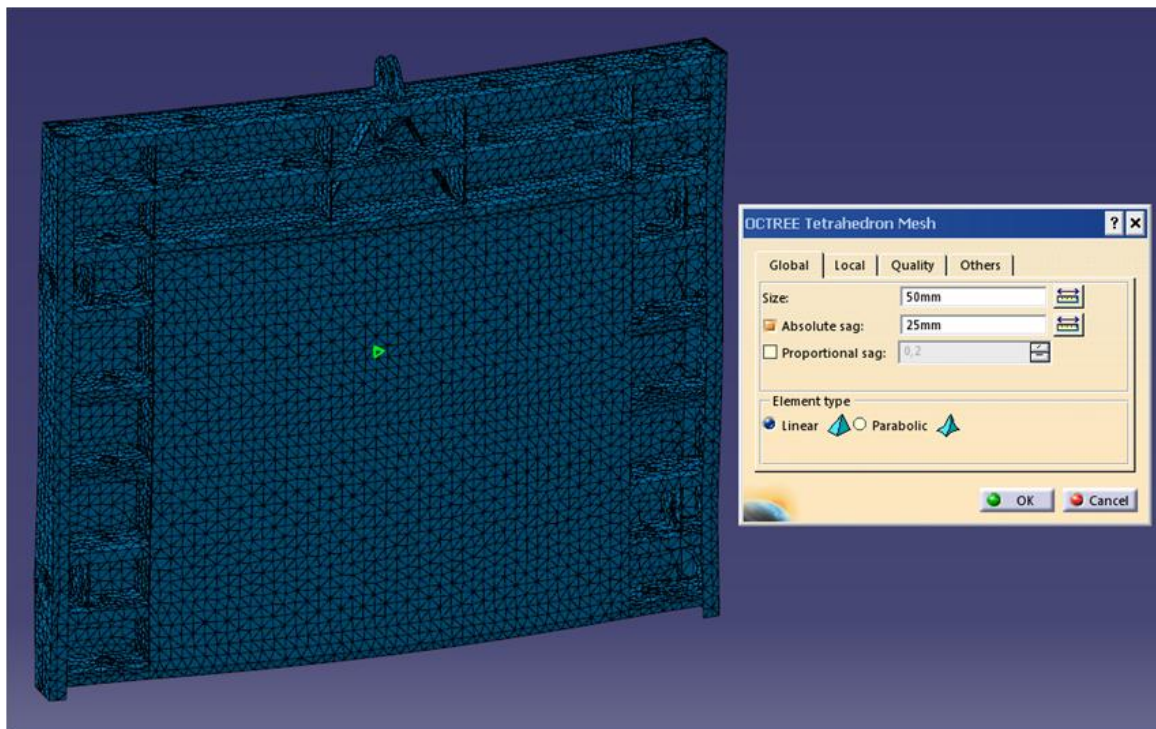
Realizaremos un modelo simplificado del tablero para el análisis, eliminando o cambiando elementos poco útiles o cuyo grado de detalle no sea necesario (fig. 7.14):



**Figura 7.14** Modelo simplificado de la compuerta mural

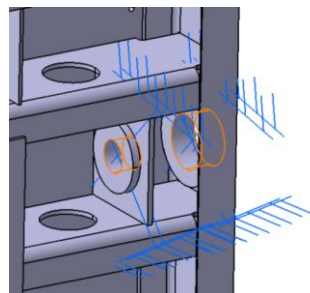
- No representamos los rodillos ni sus ejes.
- No se modelizaron las soldaduras, hemos supuesto todas las uniones perfectas.
- Hemos quitado las juntas de estanqueidades y su tornillería.
- Hemos quitado el husillo.

El tamaño de malla se ha elegido asegurando que sea lo suficientemente pequeña como para obtener un resultado adecuadamente riguroso, y no está tan definida como para que la capacidad de procesamiento del ordenador sea limitada y tarde en resolver el modelo (fig. 7.15).



**Figura 7.15** Mallado compuerta mural

Para simular el apoyo de los rodillos en los carriles de rodadura hemos añadido restricciones en los apoyos de sus ejes como podemos apreciar en la figura 7.16.



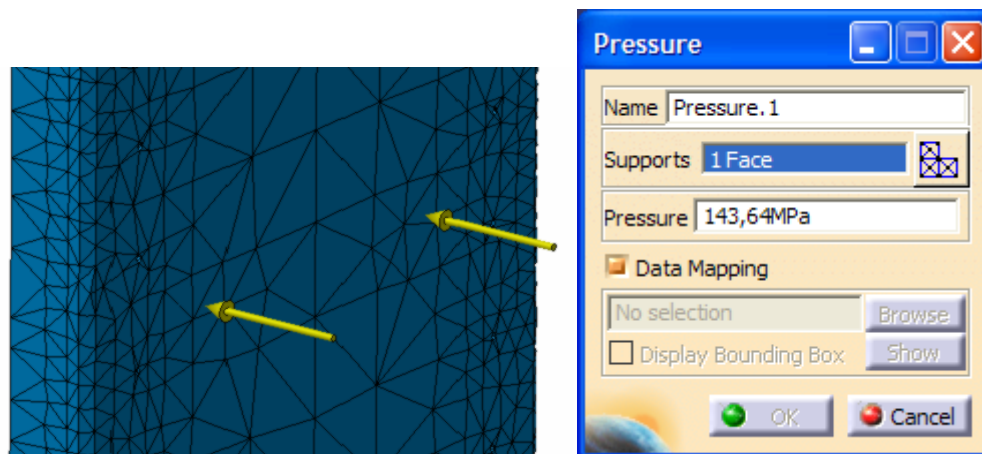
**Figura 7.16** Restricciones compuerta mural



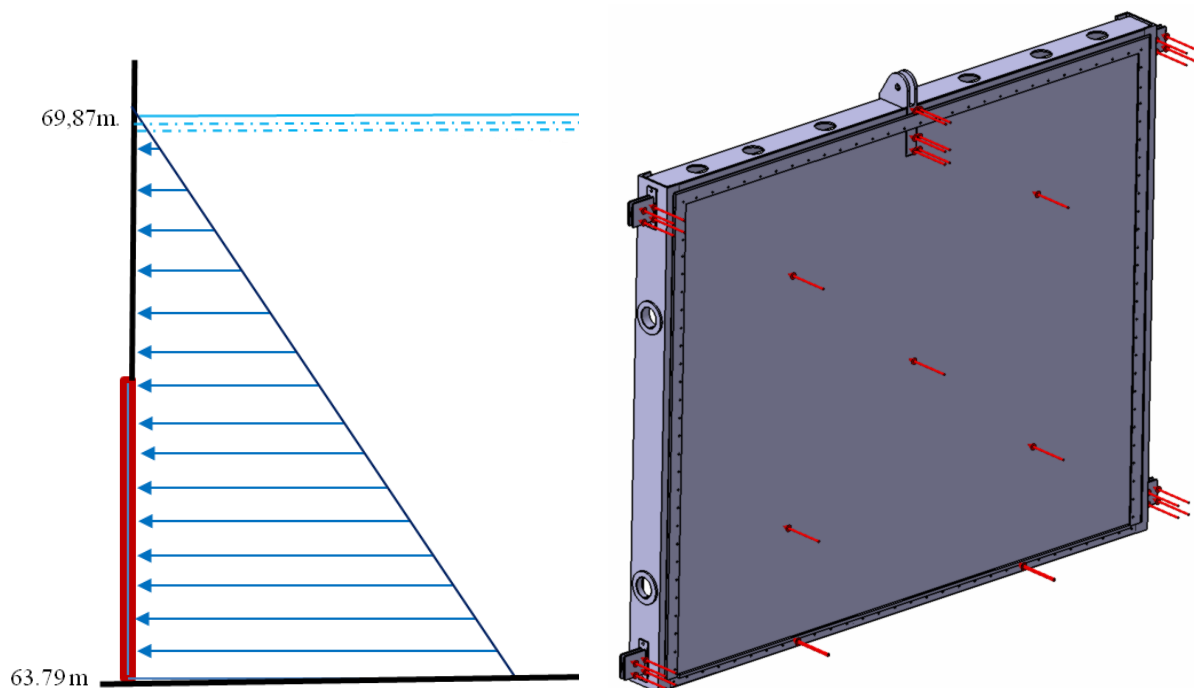
La compuerta canal está situada a un nivel de 63.79 m, de tal forma que tienen una cota máxima de agua de 69.87 m, esto nos da una diferencia de niveles de agua de 6,08 m.c.a.

La carga que introduciremos será la presión hidráulica que debe soportar esta compuerta incrementada en 1.5 de agua de 6,08 m.c.a.

La carga que introduciremos será la presión hidráulica que debe soportar esta compuerta incrementada en 1.5 ( $P_D$ : **0,456 kg/cm<sup>2</sup>**). La presión hidráulica de será aplicada como vemos en la figura 7.17 y 7.18. El valor que introduciremos en CATIA para la presión será de **143640 N/ m<sup>2</sup>**.

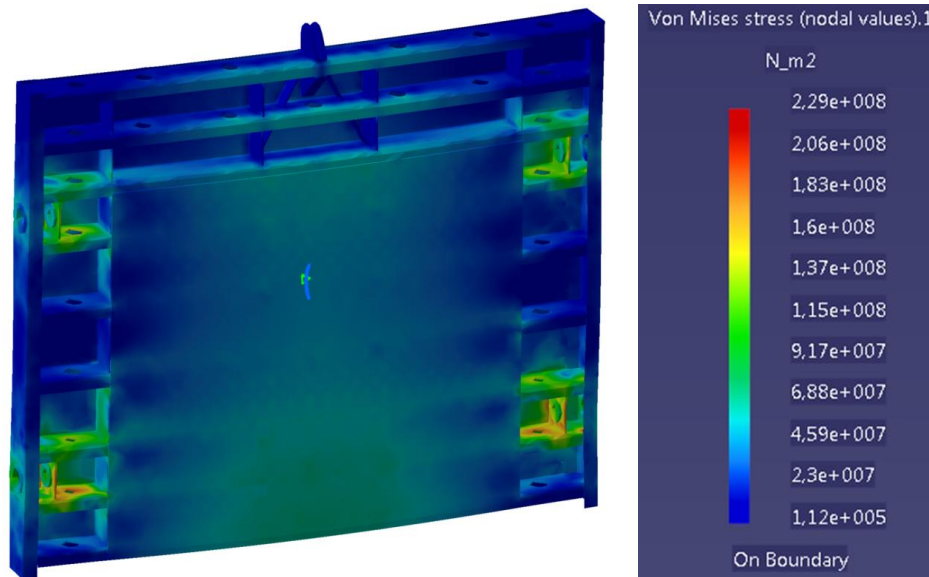


*Figura 7.17* Cargas compuerta mural



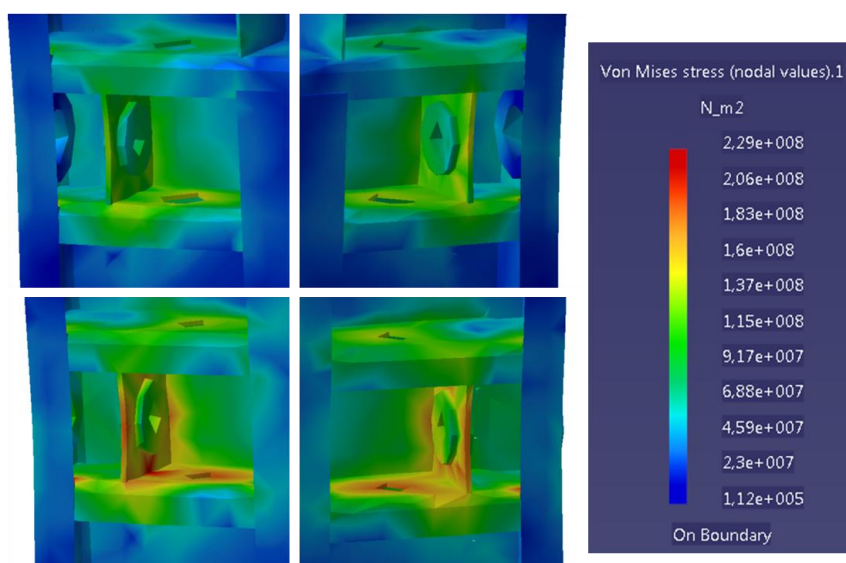
*Figura 7.18* Cargas compuerta mural

En la figura 7.19 se puede ver el estado de esfuerzos resultante sobre el tablero de la compuerta mural.



**Figura 7.19** Estado de esfuerzos en la compuerta mural

Como podemos observar, encontramos los valores máximos de tensión 229 MPa localizado principalmente en la zona que tenemos los rodillos inferiores de la compuerta. Más concretamente como podemos observar en la figura 7.20 la máxima tensión se encuentra localizada en los dos ejes inferiores de la compuerta mural.

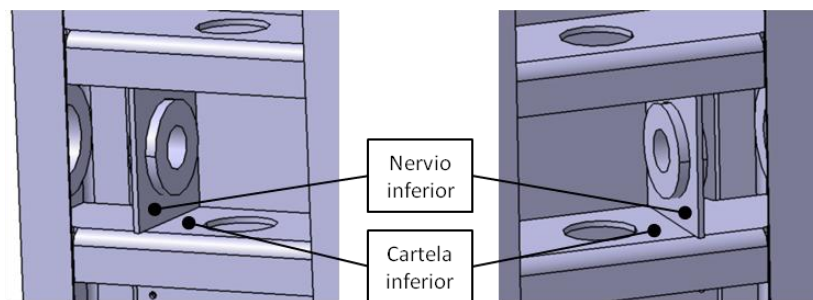


**Figura 7.20** Tensión máxima zona de los ejes del tablero de la compuerta mural.

En el modelo de elementos finitos creado, obtenemos un valor máximo de tensiones igual a 229 MPa. Teniendo como tensión admisible del acero S275JR igual a 275 MPa, se obtiene finalmente un factor de reserva de 1,20.

Este factor de reserva se encuentra por debajo del 1,5 que establecimos como límite inferior. Rediseñaremos las partes afectadas para que el tablero se encuentre siempre por encima de este factor de seguridad.

Para aumentar ese factor de seguridad vamos a aumentar el espesor de las cartelas y del nervio de los ejes inferiores, ver fig. 7.21.

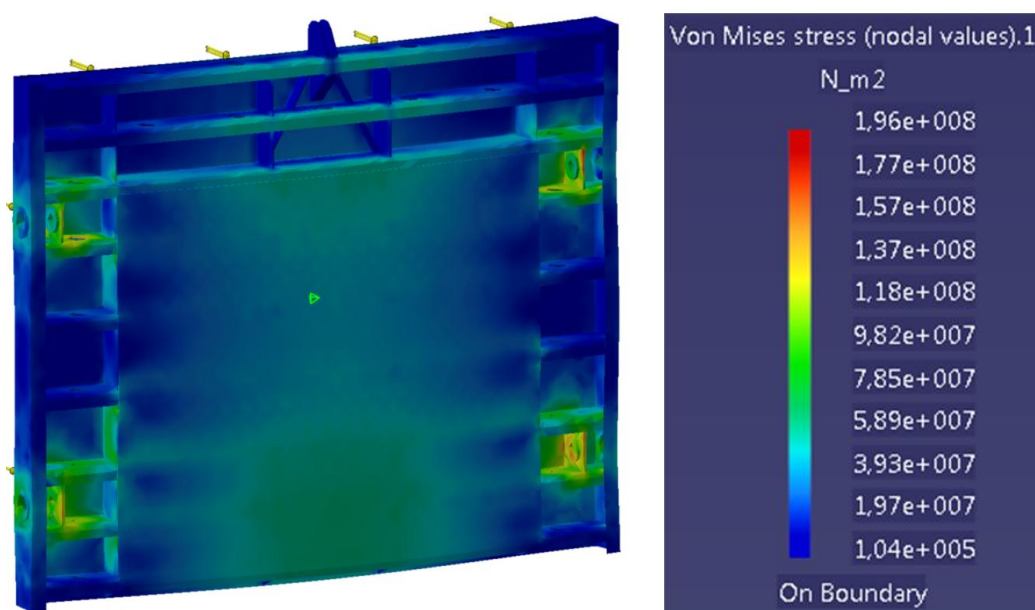


**Figura 7.21** cartela y nervio ejes inferiores de la compuerta mural.

Inicialmente los nervios son de 10mm. y las cartelas son de 8 mm.

- Aumentamos tanto el nervio como la cartela de los ejes inferiores a 14mm.

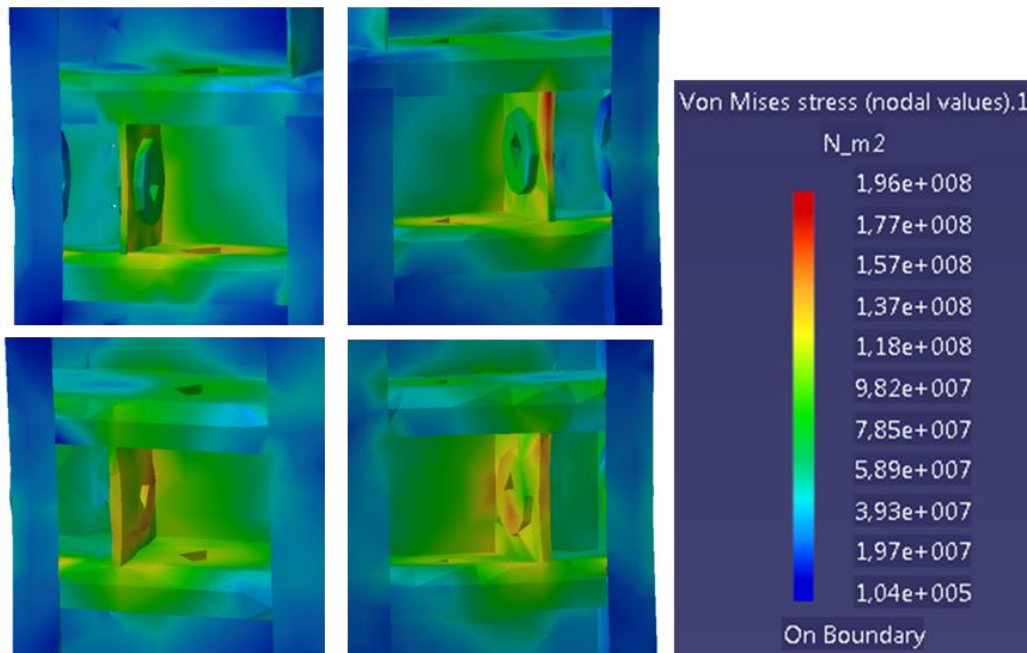
Volvemos a rehacer los cálculos obteniendo los siguientes resultados (fig.7.22):



**Figura 7.22** Estado de esfuerzos compuerta mural espesores de 14mm en el eje inferior.

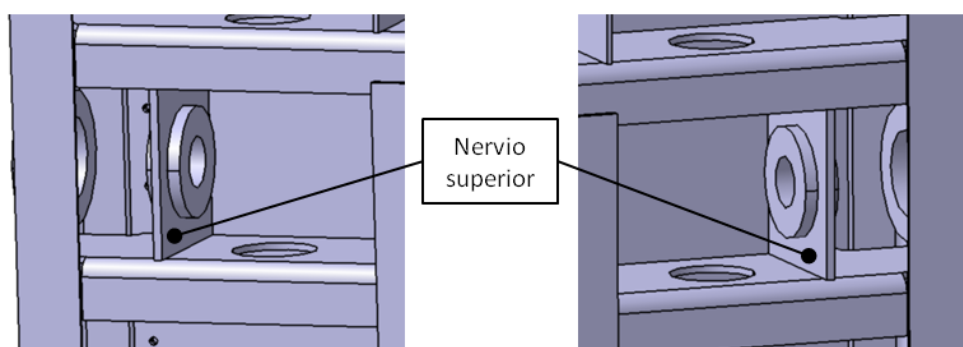
Como podemos observar, los valores máximos de tensión han disminuido a 196 MPa. Teniendo como tensión admisible del acero S275JR igual a 275 MPa, se obtiene finalmente un factor de reserva de 1,4. Seguimos estando por debajo del 1,5. Estudiamos donde aparecen los máximo valores de tensión.

Los nuevos máximos aparecen ahora en el nervio de los ejes superiores como podemos ver en la fig. 7.23.



**Figura 7.23** Tensión máxima ejes tablero compuerta mural espesores de 14mm eje inferior.

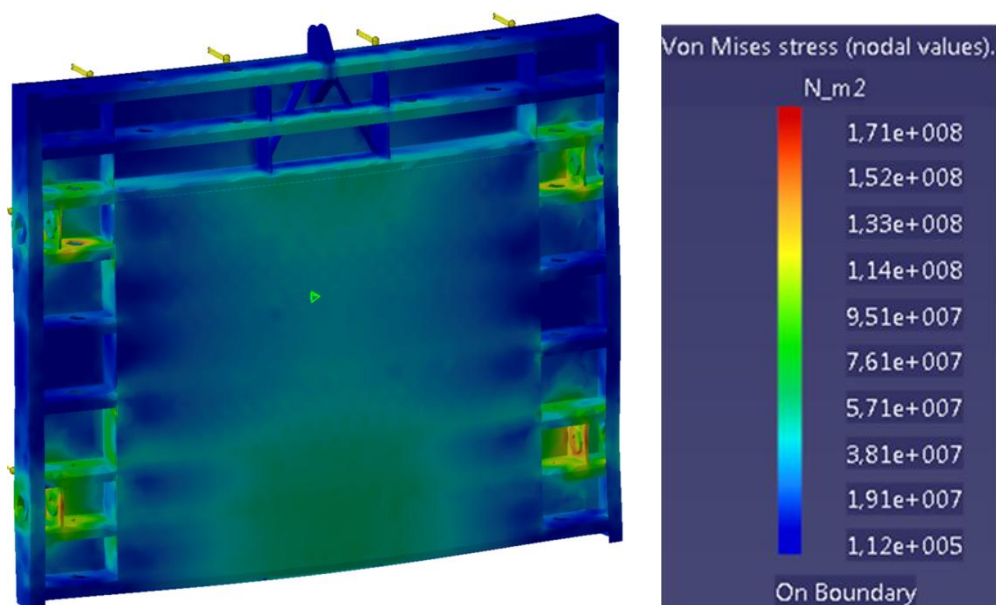
Para seguir aumentando el factor de seguridad, redimensionaremos ahora el nervio del eje superior (fig. 7.24), sin tocar los espesores de los ejes inferiores. Aumentamos su espesor de 10mm a 12mm.



**Figura 7.24** Nervio ejes superiores de la compuerta mural



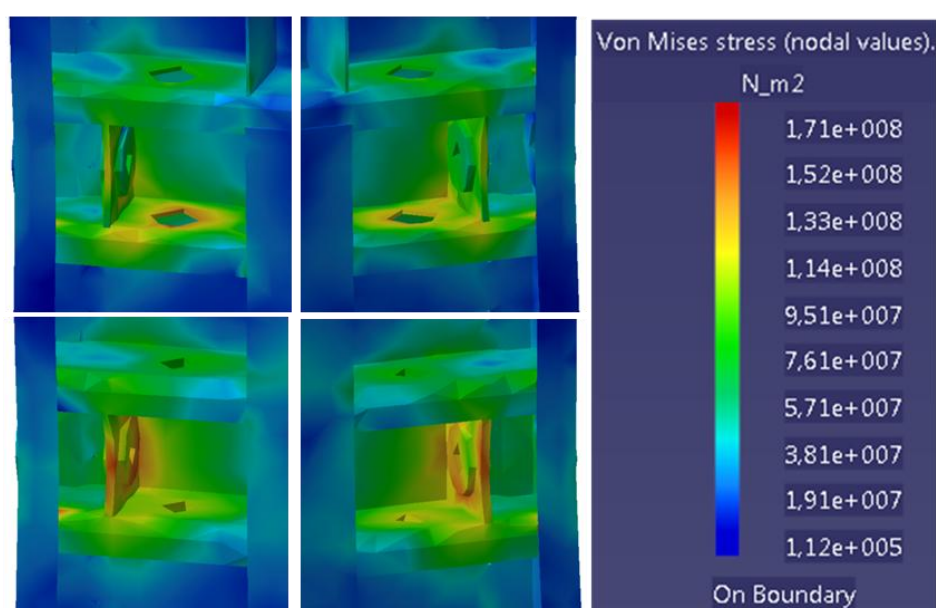
Volvemos a rehacer los cálculos obteniendo los siguientes resultados (fig.7.25):



**Figura 7.25** Estado de esfuerzos compuerta mural espesores de 12mm nervio eje superior.

Como podemos observar, los valores máximos de tensión han disminuido a 171 MPa.

Vemos en la figura 7.26 en detalle la zona de los ejes superior e inferior de la compuerta mural.



**Figura 7.26** Tensión máxima ejes tablero compuerta mural espesor de 12mm eje superior.

Teniendo como tensión admisible del acero S275JR igual a 275 MPa, se obtiene finalmente un factor de reserva de 1,61. Ya estamos por encima de la valor de 1,5 que establecimos como límite inferior.

Los cambios que hemos tenido que realizar son los siguientes tabla 7.1:

**Tabla 7.1** Cambios realizados en la compuerta mural

	Eje Superior		Eje inferior	
	Espesor Nervio	Espesor Cartela	Espesor Nervio	Espesor Cartela
<b>Solucion Inicial</b>	10	8	10	8
<b>Solucion Final</b>	12	8	14	14

El estado de tensiones lo podemos ver en la tabla 7.2.

**Tabla 7.2** Factores de seguridad en los dos diseños de la compuerta mural

	Tension máxima (MPa)	Tensión Admisible (MPa)	Factor de Seguridad
<b>Solucion Inicial</b>	229	275	1,20
<b>Solucion Final</b>	171	275	1,61

# Capítulo 8

## Presupuesto.

Para finalizar, se ha realizado una estimación del coste del proyecto fin de carrera. Se presenta mediante un modelo genérico de presupuesto.

El modelo de presupuesto incluye los siguientes puntos:

- Empresa. En este caso representada por la Universidad Carlos III de Madrid
- Autor. Principal responsable del proyecto.
- Departamento. Para éste proyecto, Departamento de Ingeniería Mecánica.
- Descripción del proyecto. Este punto consta del título, la duración y la tasa de los costes indirectos. Además de los costes directos, hay que añadir un porcentaje a los costes indirectos que genera el proyecto. Estos costes se atribuyen a tareas y material que no es posible cuantificar de una forma exacta. En el presupuesto presentado a continuación se han estimado unos costes indirectos del 20%.
- Presupuesto total. Donde se indica la estimación del valor total del proyecto.
- Desglose de costes directos.
- El desglose de costes se ha dividido en cuatro grupos:
  - Personal:

Estimación del coste de todo el personal que ha intervenido en el proyecto. En este caso, El personal se fracciona en dos categorías, Ingeniero Senior, personificado en el director de proyecto, D. Higinio Rubio Alonso, Ingeniero junior, representado por el autor del proyecto, Diego Romero Villafuertes,



**Tabla 8.1** *Personal*

Apellidos y nombre	Categoría	Dedicación (hombres mes)	Coste Hombre	Coste (€)
Higinio Rubio Alonso (PDI)	Ingeniero Sénior	0,5	4289,54	2144,77
Diego Romero Villafuertes	Ingeniero Junior	3	2694,39	8083,17
	Hombres mes	4	<b>TOTAL</b>	<b>10227,94</b>

1 Hombre mes = 131,25 horas. Máximo anual de dedicación de 12 hombres mes (1575 horas)

Máximo anual para PDI de la Universidad Carlos III de Madrid de 8,8 hombres mes (1.155 horas)

- Equipos:

En este grupo se estima la amortización del conjunto de equipos que se han utilizado para la realización del proyecto. También se incluyen las licencias del software, excluyendo el contenido en el ordenador (En este caso, sistema operativo y paquete de ofimática)

**Tabla 8.2** *Equipos*

Descripción	Coste (€)	% Uso dedicado proyecto	Dedicación (meses)	Periodo de depreciación	Coste imputable
Ordenador (S.O.+Ofimática)	600	100	4	60	40
Impresora Laser a color y Toner.	300	100	3	24	37,50
Catia V5 (alquiler licencia)	40000	100	2	12	6666,67
				<b>TOTAL</b>	<b>6744.17</b>

Fórmula de cálculo de la Amortización:

$$\frac{A}{B} \times C \times D$$

A = nº de meses desde la fecha de facturación en que el equipo es utilizado

B = periodo de depreciación (60 meses)

C = coste del equipo (sin IVA)

D = % del uso que se dedica al proyecto (habitualmente 100%)

- Subcontratación.

Apartado en el que se desglosan todas las tareas que requieran de subcontratación a empresas externas. En nuestro caso aquí incluimos a la empresa que subcontratamos para la fabricación, montaje y verificación de las compuertas diseñadas.

**Tabla 8.3** *Subcontratación*

Descripción	Coste imputable (€)
Fabricación Compuerta mural de 3x2,7m en S 275JR para una carga de 8 m.c.a, incluso hierros fijos, con accionamiento eléctrico.	7451,56
Montaje y pruebas compuerta mural	1862,89
Fabricación compuerta canal de 0,6 x2,7m en S 275JR, incluso hierros fijos, con accionamiento eléctrico.	2627,48
Montaje y pruebas compuerta Canal	656,87
<b>TOTAL</b>	<b>12598,80</b>

- Resto de costes directos:

Se establece en este apartado los costes generales que faltan por detallar, tales como dietas, viajes y materiales fungibles.

**Tabla 8.4** *Otros costes directos del proyecto*

Descripción	Coste imputable (€)
Impresión memorias y planos	300
<b>TOTAL</b>	<b>300</b>

- Coste Total:

En el coste total se recogen los cuatro costes anteriores sin tener hasta el momento ningún tipo de beneficio

**Tabla 8.5** *Coste Total*

Concepto	Importe (€)
<b>Personal</b>	10227,94
<b>Equipos</b>	6744
<b>Subcontratación de tareas</b>	12599
<b>Costes de material de oficina</b>	300
<b>Costes indirectos</b>	5974
<b>TOTAL</b>	<b>35845</b>

- Presupuesto de ejecución por contrata.

Una vez obtenido los diferentes costes se le aplican los porcentajes correspondientes para la obtención del beneficio para la persona que se ha encargado de la realización del proyecto.

**Tabla 8.6** *Presupuesto de ejecución por contrata*

Concepto	Importe (€)
<b>Coste Total</b>	35845
<b>Beneficio (20%)</b>	7169
<b>TOTAL</b>	<b>43014</b>

- Presupuesto total.

**Tabla 8.7** *Presupuesto total*

Concepto	Importe (€)
<b>Presupuesto de ejecución por contrata</b>	43014
<b>IVA (21%)</b>	9033
<b>TOTAL</b>	<b>52047</b>

El presupuesto final asciende a CINCUENTA Y DOS MIL CUARENTA Y SIETE euros.

Podemos ver el presupuesto completo en la figura 8.1.

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**  
**Escuela Politécnica Superior**  
**PRESUPUESTO DE PROYECTO**

---

**1.- Autor:**  
 Diego Romero Villafuertes

**2.- Departamento:**  
 Ingeniería Mecánica.

**3.- Descripción del Proyecto:**  
 - Título: **DISEÑO DE UN CONJUNTO DE REGULACIÓN HÍDRICA PARA UN CANAL DE DERIVACIÓN**  
 - Duración (meses): **4**  
 - Tasa de costes indirectos: **20%**

**4.- Presupuesto total del Proyecto (valores en Euros):**  
**52.047,07 Euros**

**5.- Desglose presupuestario (costes directos)**

**PERSONAL**

Apellidos y nombre	N.I.P. (no residente + solo a título informativo)	Categoría	Dedicación (hombres mes) <sup>a)</sup>	Coste hombre mes	Coste (Euro)	Firma de conformidad
Higinio Rubio Alonso		Ingeniero Senior	0,50	4.289,54	2.144,77	
Diego Romero Villafuertes		Ingeniero junior	3	2.694,39	8.083,17	
<b>Hombres mes 3,5</b>				<b>Total</b>	<b>10.227,94</b>	

<sup>a)</sup> 1 Hombre mes = 131,25 horas. Máximo anual de dedicación de 12 hombres mes (1575 horas)  
 Máximo anual para PDI de la Universidad Carlos III de Madrid de 8,8 hombres mes (1.155 horas)

**EQUIPOS**

Descripción	Coste (Euro)	% Uso dedicado proyecto	Dedicación (meses)	Periodo de depreciación	Coste imputable <sup>a)</sup>
Ordenador (S.O. + Ofimática)	600,00	100	4	60	40,00
Impresora Laser a color + Toner.	300,00	100	3	24	37,50
Catía V5 (alquiler licencia)	40.000,00	100	2	12	6.666,67
<b>Total</b>					<b>6.744,17</b>

<sup>a)</sup> Fórmula de cálculo de la Amortización:

$$\frac{A}{B} \times C \times D$$

A = nº de meses desde la fecha de facturación en que el equipo es utilizado  
 B = periodo de depreciación (60 meses)  
 C = coste del equipo (sin IVA)  
 D = % del uso que se dedica al proyecto (habitualmente 100%)

**SUBCONTRATACIÓN DE TAREAS**

Descripción	Empresa	Coste imputable
Fabricación Compuerta mural de 3x2,7m en S 275JR para una carga de 8 m.c.a., incluso hierros fijos, con accionamiento eléctrico.		7.451,56
Montaje y pruebas compuerta mural		1.862,89
Fabricación compuerta canal de 0,8 x2,7m en S 275JR, incluso hierros fijos, con accionamiento eléctrico.		2.627,48
Montaje y pruebas compuerta Canal		656,87
<b>Total</b>		<b>12.598,80</b>

**OTROS COSTES DIRECTOS DEL PROYECTO<sup>a)</sup>**

Descripción	Empresa	Costes imputable
Impresión memorias y planos		300,00
<b>Total</b>		<b>300,00</b>

<sup>a)</sup> Este capítulo de gastos incluye todos los gastos no contemplados en los conceptos anteriores, por ejemplo: fungible, viajes y dietas, otros,...

**6.- Resumen de costes**

Presupuesto Costes Totales	Presupuesto Costes Totales
Personal	10.228
Equipos	6.744
Subcontratación de tareas	12.599
Costes de material de oficina	300
Costes indirectos	5.974
Coste Total	35.845
Beneficios sobre el Coste Total (20%)	7.169,0176
Total Presupuesto por ejecución por contrata	43.014
Iva ( 21%)	9.033
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>52.047</b>

*Figura 8.1 Presupuesto proyecto*

# Capítulo 9

## Conclusiones

Al final del proyecto se puede concluir afirmando que se han alcanzado con éxito todos y cada uno de los objetivos propuestos al comienzo del mismo. Se ha conseguido cumplir el objetivo principal, ***“diseñar un conjunto de regulación hídrico de dos compuertas según especificaciones y requerimientos del cliente y de la normativa, para regular la derivación de agua y asegurar el buen funcionamiento del azud”***.

El diseño final propuesto consiste en un conjunto compuesto de dos compuertas vagón, cada una diseñada individualmente, para cumplir con los requisitos del cliente. De esta forma, se ha conseguido ofrecer al cliente una solución tipo “llave en mano” en la cual, al concluir la instalación del conjunto de compuertas, éstas estarán listas para cumplir con sus requerimientos funcionales y normativos dentro del azud de derivación.

Es importante destacar la importancia de la primera fase del proyecto pues el análisis correcto de los datos iniciales permite hacer un prediseño lo más acertado y acorde a lo requerido por el cliente. De esa forma, con un primer modelo adecuado se evitan problemas de rediseño llegando a la solución correcta del diseño solicitado.

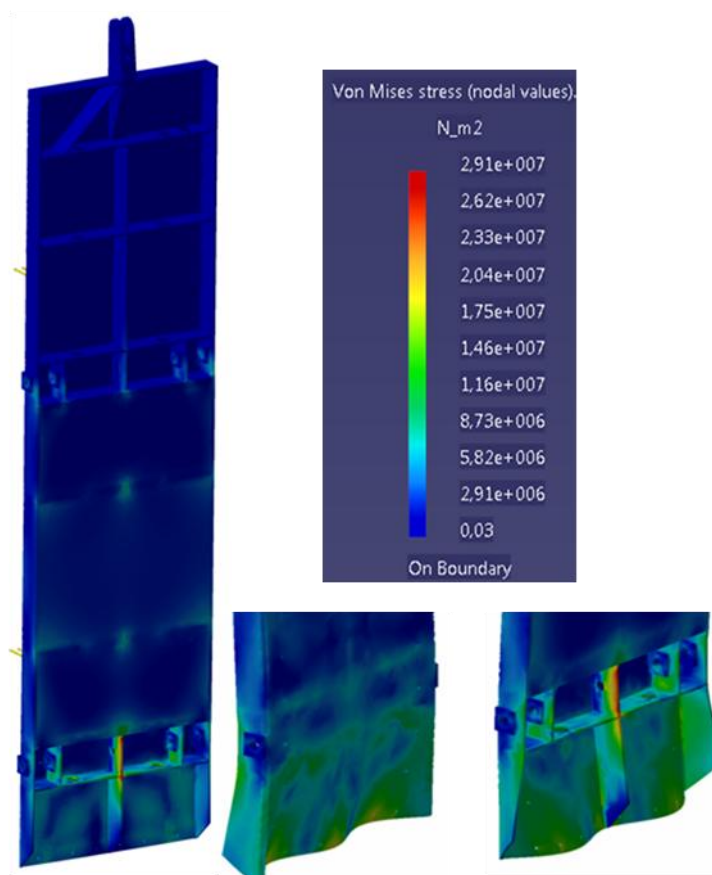
Los modelos de las compuertas propuestos han sido diseñados de forma paramétrica en Catia V5. Esta parametrización permite afrontar de forma ágil y rápida posibles cambios debido a modificaciones causada por necesidades de diseño, normativa u otro tipo, facilitando y agilizando las futuras evoluciones de las compuertas.

La comprobación estructural se ha efectuado aplicándole a los modelos CAD el método de elementos finitos, mediante Catia v5.

Los resultados obtenidos con los modelos de elementos finitos ofrecen una solución bastante exacta del problema pero estrictamente son una aproximación del comportamiento que tendrá en la realidad, ya que estos modelos no están exentos de simplificaciones y

particularidades que deben ser analizadas detalladamente para su futura resolución o interpretación del modelo, a poder ser, con ensayos reales.

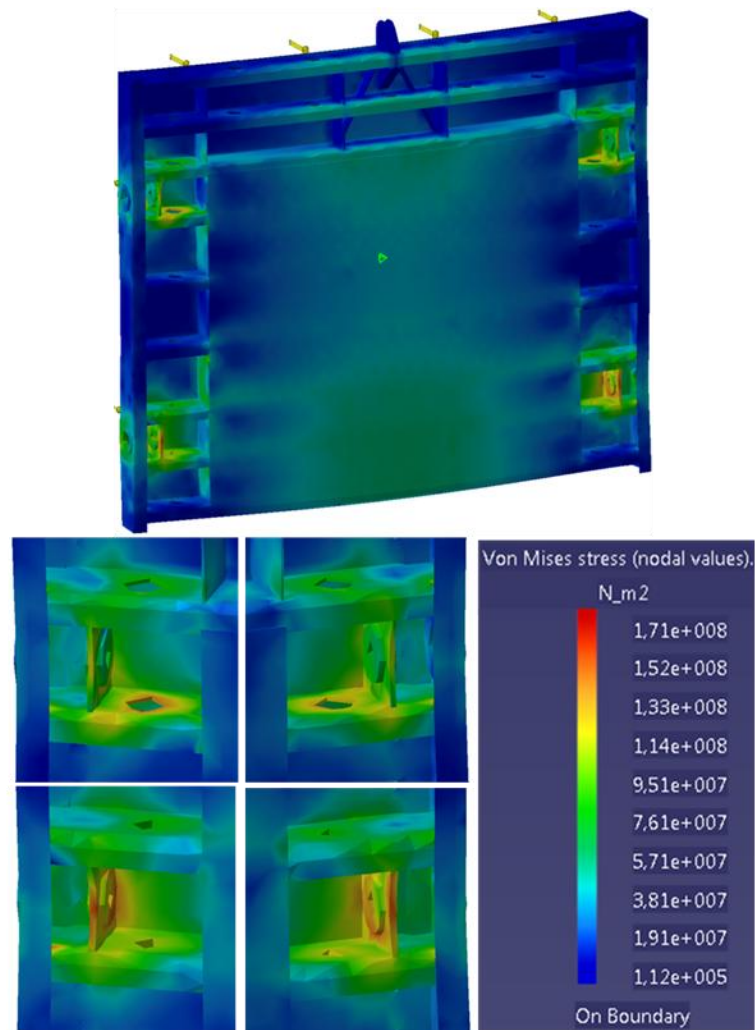
Como resultados técnicos, debemos resaltar que en los resultados del análisis de elementos finitos de la compuerta canal, se obtiene un factor de reserva de 9,45 (fig. 9.1). Esta compuerta podría soportar esfuerzos bastante superiores para los que ha sido diseñada pero elementos de la misma, como uniones o soldaduras y la propia norma, nos obligan a obrar así. Aun así, sería posible estudiar una reducción general de espesores pero la reducción de costes de material sería ínfima.



**Figura 9.1** Estado de esfuerzos en la compuerta canal

En los resultados del análisis de elementos finitos del diseño de compuerta mural propuesto, se obtiene un factor de reserva de 1,61 (fig. 9.2). Esta compuerta podría soportar esfuerzos superiores para los que ha sido diseñado.

Para llegar a la solución de un diseño adecuado para la compuerta mural, que estuviese por encima del factor de reserva de 1,5 requerido en las especificaciones, se tuvo que analizar en detalle las zonas del primer diseño propuesto de la compuerta mural pues en algunas zonas no daba resultados satisfactorios. Ayudados por la parametrización de los modelos, se pudo variar sin demasiado esfuerzo adicional los espesores de las zonas más cargadas para alcanzar el factor de reserva requerido e, incluso superarlo.



**Figura 9.2** Estado de esfuerzos solución final compuerta mural

Resaltar también que se ha verificado que los diseños de los dos modelos de compuerta cumplen la normativa técnica aplicable a instalaciones hídricas (principalmente, las normas DIN 19704 y DIN 19705).

Finalmente, a modo de resumen, podemos concluir que se han alcanzado, a plena satisfacción, todos los objetivos planteados al principio del presente proyecto. Prueba de ello es que este sistema hídrico de dos compuertas ha sido implementado físicamente y funciona correctamente.



# Bibliografía

## Referencias bibliográficas.

### Hidráulica.

- [1] Norma NBR 8883-1996. “Cálculo y fabricación de compuertas hidráulicas”.
- [2] Norma EM 1110-2-2702-2000. “Calculation and manufacture of hidraulic gates”.
- [3] “Nace Corrosion Engineer’s Reference Book”. R. Baboian. National Association of Corrosion Engineers, III Edition, (2002).
- [4] “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley”. R. Budynas, K. Nisbert. Ed McGraw Hill 9ª Edición (2012).
- [5] “Ingeniería de presas: Presas de fábrica”. J. Díez-Cascón, F. Bueno. Ed. Universidad de Cantabria (2001).
- [6] DIN 19704: “Hydraulic Steel Structures. Criteria for Design and Calculation”. (1998)
- [7] DIN 19705: “Hydraulic Steel Structures. Recommendation for Design, Construction and Erection”. (1998)

- [8] “Hidráulica de canales abiertos”. Chow, Ven Te. Ed McGraw Hill (2004).
- [9] “Ingeniería de los Recursos Hidráulicos”. R.K. Linsley & J.B. Franzini. Ed. Cecsa (1974).
- [10] “Diseño de Presas Pequeñas”. E. Martinez Marin. Ed. CECSA, 3ª Ed. (2010)
- [11] “Presas de Embalses”. Tomos I y II”. H. Varlet. Editorial Interciencia (1971).
- [12] “Manual del Diseñador de Estructuras Hidráulicas”. B. Nedrigui. Ed. Stroyizdat. Moscú, Rusia. (1983).
- [13] Valve solutions ORBINOX: <http://www.orbinox.com> (último acceso: 30-10-2014)

## **CATIA V5**

- [14] “Diseño gráfico con CATIA: curso práctico con los módulos Sketcher y Part Design”. J. Lambas Pérez. Ed. Ra-Ma (2006).
- [15] “El libro de Catia V5: módulos Part Design, Wireframe & Surface Design, Assembly Design y Drafting”. M.G. . Ed. Tébar (2007).
- [16] “El gran libro de Catia”. E. Torrecilla. Ed. Marcombo. (2010).
- [17] “Análisis y diseño de piezas de máquinas con CATIA V5. Método de los elementos finitos”. J.A. Vázquez. Ed. Marcombo. (2009).
- [18] Online documentation, Dassault systems:  
<http://www.3ds.com/products-services/catia/> (último acceso: 30-10-2014)

# Anexos

- A. Planos del cliente.
- B. Planos de fabricación y ensamblaje compuerta canal
- C. Planos de fabricación y ensamblaje compuerta mural
- D. Tablas características de las normales usadas en el proyecto.

## A Planos del cliente.

En este primer anexo dispondremos de los planos del azud de derivación que el cliente nos ha entregado para la elaboración de este proyecto. De estos planos sacaremos toda la información necesaria de la ubicación de las compuertas a diseñar.

<i>Plano A1</i>	Azud de derivación	
<i>Plano A2</i>	Ubicación compuerta canal	

## B Planos de fabricación y ensamblaje compuerta CANAL.

En este apartado del anexo se muestra cada uno de los planos de las piezas diseñadas para las compuertas canal, así como los planos de ensamblaje de cada pieza en un conjunto superior.

Planos de la situación de las placas para la **compuerta canal** en la primera fase.

<i>Plano B16</i>	Obra de fabrica en 1ª fase: Situación de placas compuerta canal	C01000
------------------	---	--------

Planos de los hierros fijos para el alojamiento de la compuerta canal

<i>Plano B13</i>	SOLERA compuerta canal	C02002
<i>Plano B14</i>	CARRIL DE RODADURA compuerta canal	C02001
<i>Plano B15</i>	CONJUNTO HIERROS FIJOS compuerta canal	C02000

Plano de la instalación del conjunto de los hierros fijos a la obra de primera fase con las placas de anclaje.

<i>Plano B18</i>	Instalación de los hierros fijos en la compuerta canal	C00001
------------------	--	--------

Planos de la compuerta canal. Aquí formaremos el conjunto del tablero de la compuerta canal.

<i>Plano B1</i>	TAPA COMPUERTA CANAL	C03011
<i>Plano B2</i>	Actuador Compuerta canal (solo hay plano)	C03010
<i>Plano B3</i>	CONSOLA ACCIONAMIENTO COMPUERTA CANAL	C03009
<i>Plano B4</i>	SOPORTE CONSOLA COMPUERTA CANAL	C03008
<i>Plano B5</i>	HUSILLO COMPUERTA CANAL	C03007
<i>Plano B6</i>	BULON HUSILLO COMPUERTA CANAL	C03006
<i>Plano B7</i>	ESTANQUEIDADES COMPUERTA CANAL	C03005
<i>Plano B8</i>	CHAPA DE RETENCION COMPUERTA CANAL	C03004
<i>Plano B9</i>	EJE DE RUEDA COMPUERTA CANAL	C03003
<i>Plano B10</i>	SOLERA COMPUERTA CANAL	C03002
<i>Plano B11</i>	TABLERO COMPUERTA CANAL	C03001
<i>Plano B12</i>	CONJUNTO COMPUERTA CANAL	C03000

Plano para el hormigonado del tablero de la compuerta canal.

<i>Plano B17</i>	Hormigón compuerta canal	C00002
------------------	--------------------------	--------

Plano donde se termina el montaje de la compuerta canal.

<i>Plano B19</i>	CONJUNTO GENERAL COMPUERTA CANAL	C00000
------------------	----------------------------------	--------

### C Planos de fabricación y ensamblaje compuerta MURAL.

En este apartado del anexo se muestra cada uno de los planos de las piezas diseñadas para la compuerta mural así como los planos de ensamblaje de cada pieza en un conjunto superior

Planos de la situación de las placas para la **compuerta mural** en la primera fase.

<i>Plano C23</i>	Obra de fabrica en 1ª fase: Situación de placas compuerta mural	M01000
------------------	---	--------

Planos de los hierros fijos para el alojamiento de la compuerta canal

<i>Plano C18</i>	CARRILES GUIA Compuerta mural	M02004
<i>Plano B19</i>	DINTEL Compuerta mural	M02003
<i>Plano C20</i>	SOLERA Compuerta mural	M02002
<i>Plano C21</i>	CARRIL DE RODADURA Compuerta mural	M02001
<i>Plano C22</i>	CONJUNTO HIERROS FIJOS Compuerta mural	M02000

Plano de la instalación del conjunto de los hierros fijos a la obra de primera fase con las placas de anclaje.

<i>Plano C25</i>	Instalación de los hierros fijos en la compuerta canal	M00001
------------------	--	--------

Planos de la compuerta mural. Aquí formaremos el conjunto del tablero de la compuerta mural.

<i>Plano C1</i>	Actuador compuerta mural	M03016
<i>Plano C2</i>	Tapa Compuerta mural	M03015
<i>Plano C3</i>	BRIDA ACTUADOR COMPUERTA MURAL	M03014
<i>Plano C4</i>	COLUMNA COMPUERTA MURAL	M03013
<i>Plano C5</i>	SOPORTE COLUMNA COMPUERTA MURAL	M03012
<i>Plano C6</i>	HUSILLO COMPUERTA MURAL	M03011
<i>Plano C7</i>	BULON HUSILLO COMPUERTA MURAL	M03010
<i>Plano C8</i>	BULON TABLERO COMPUERTA MURAL	M03009
<i>Plano C9</i>	BARRA SUSPENSION COMPUERTA MURAL	M03008
<i>Plano C10</i>	PATIN GUIA COMPUERTA MURAL	M03007
<i>Plano C11</i>	ESTANQUEIDADES COMPUERTA MURAL	M03006
<i>Plano C12</i>	CHAPA DE RETENCION COMPUERTA MURAL	M03005
<i>Plano C13</i>	EJE DE RUEDA COMPUERTA MURAL	M03004
<i>Plano C14</i>	CASQUILLO DE FRICCION COMPUERTA MURAL	M03003
<i>Plano C15</i>	RUEDA COMPUERTA MURAL	M03002
<i>Plano C16</i>	TABLERO COMPUERTA MURAL	M03001
<i>Plano C17</i>	CONJUNTO COMPUERTA MURAL	M03000

Plano para el hormigonado del tablero de la compuerta canal.

<i>Plano C24</i>	Hormigón compuerta mural	M00002
------------------	--------------------------	--------

Plano donde se termina el montaje de la compuerta mural.

<i>Plano C26</i>	CONJUNTO GENERAL COMPUERTA MURAL	M00000
------------------	----------------------------------	--------